

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри
_____ Володимир ЄРЕМЕНКО
«_____» _____ 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні
системи та технології екологічного моніторингу»**

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми
оксидів азоту в атмосферному повітрі»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПН-361

Журавльов Костянтин Володимирович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.,

Маркіна Ольга Миколаївна _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н.

Мураховський Сергій Анатолійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"

Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-вимірювальні системи та технології екологічного моніторингу»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«_____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Журавльову Костянтину Володимировичу

1. Тема проекту «Первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в атмосферному повітрі», керівник проекту Маркіна Ольга Миколаївна, к.т.н., доцент.

затверджені наказом по Університету від "___" _____ 2020 р.
№____.

2. Термін подання студентом проекту "18" травня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту:

3.1. Параметри вхідного сигналу:

- концентрація оксидів азоту від 0 до 10 мг/м³ в атмосферному повітрі.

3.2. Межа допустимої основної абсолютної похибки в атмосферному повітрі $\pm (0,005 + 0,15 S_x)$, де S_x – значення вимірюваної концентрації.

3.3. Умови експлуатації:

- температура навколишнього середовища від 5..40°C;
- атмосферний тиск від 96 до 104 кПа (від 720 до 780 мм.рт.ст.);

- відносна вологість повітря не більше 95% при 30°C;
- атмосферний тиск $P=90,6..106$ кПа;
- напруга живлення $U=(220\pm\frac{22}{33})$ В, частота $(50\pm0,5)$ Гц;
- параметри вихідного сигналу: аналоговий електричний сигнал $U_{вих}=0...5$ В.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналітичний розділ

4.2.1. Характеристика об'єкту аналізу (оксидів азоту в атмосферному повітрі).

4.2.2. Аналітичний огляд методів вимірювання концентрації оксидів азоту

4.2.3. Аналітичний огляд приладів-аналогів вимірювання концентрації оксидів азоту.

4.2.4. Обґрунтування і розробка структурної схеми первинного вимірювального перетворювача.

4.3. Конструкторський розділ.

4.3.1. Опис і обґрунтування конструкції первинного вимірювального перетворювача.

4.3.2. Дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі.

4.3.3. Вибір і розрахунок основних елементів первинного вимірювального перетворювача:

- вибір світлофільтрів;
- розрахунок реакційної камери;
- вибір фотоелектронного помножувача;

4.3.4. Розрахунок порога чутливості первинного вимірювального перетворювача.

4.3.5. Розробка принципової електричної схеми первинного вимірювального перетворювача

4.4. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових

креслень):

5.2. Структурна схема первинного вимірювального перетворювача (1 арк. А1);

5.3. Складальне креслення первинного вимірювального перетворювача (1 арк. А1);

5.4. Робочі креслення (1 арк. А1).

5.5. Схема електрична принципова (1 арк. А1).

6. Дата видачі завдання "01" березня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Характеристика об'єкту аналізу (оксидів азоту в атмосферному повітрі).	03.03.20	
2	Аналітичний огляд методів вимірювання концентрації оксидів азоту	10.03.20	
3	Аналітичний огляд приладів-аналогів вимірювання концентрації оксидів азоту.	20.03.20	
4	Обґрунтування і розробка структурної схеми первинного вимірювального перетворювача	10.04.20	
5	Опис і обґрунтування конструкції первинного вимірювального перетворювача.	20.04.20	
6	Дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі.	03.05.20	
7	Вибір і розрахунок основних елементів первинного вимірювального перетворювача	10.05.20	
8	Розрахунок порога чутливості первинного вимірювального перетворювача.	05.05.20	
9	Розробка принципової електричної схеми первинного вимірювального перетворювача	05.05.20	
10	Виконати креслення до дипломного проекту	05.05.20	
11	Підготувати пояснювальну записку до дипломного проекту	20.05.20	

Студент _____

/Костянтин ЖУРАВЛЬОВ/

Керівник проекту _____

/Ольга МАРКІНА/

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач

ПВПОА - первинний вимірювальний перетворювач оксидів азоту

ІЧ - інфрачервоний

ГДК – гранично допустима концентрація

ФЕП – фотоелектронний помножувач

ПГС – повірочна газова суміш

КР – камера реакційна

ХЛГА – хемілюмінесцентний газоаналізатор

ДПП – дросель постійний пневматичний

БДТ – блок детектора

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	10
ABSTRACT	12
STRESZCZENIE	14
ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	20
1.1 Характеристика об'єкту аналізу	20
1.1.1 Фізико-хімічні властивості оксиду азоту та діоксиду азоту.....	20
1.1.2 Джерела надходження оксидів азоту до навколишнього середовища.....	22
1.1.3 Вплив оксидів азоту на здоров'я людини.....	23
1.2 Аналіз методів вимірювання концентрації оксидів азоту	24
1.2.1 Метод Зальцмана.....	24
1.2.2 Спектрофотометричний метод	24
1.2.3 Газохроматографічний метод	26
1.2.4 Метод Орса	26
1.2.5 Колориметричний метод	27
1.2.6 Електрохімічний метод	28
1.2.7 Хемілюмінесцентний метод.....	29
1.3 Огляд сучасних приладів-аналогів.....	30
1.4 Вибір і обґрунтування схеми комбінованої структурної первинного вимірювального перетворювача	40
ТИП ГА,.....	45
1.4.1 Дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі.....	48
1.4.2 Розрахунок функції перетворення первинного вимірювального перетворювача	51
1.5 Вибір елементів та вузлів первинного вимірювального перетворювача	53

1.5.1 Вибір світлофільтрів	53
1.5.2 Розрахунок реакційної камери.....	55
1.5.3 Вибір фотоелектронного помножувача	58
1.5.4 Розрахунок порога чутливості	61
1.6 Опис конструкції первинного вимірювального перетворювача	65
1.7 Опис схеми електричної принципової	66
ВИСНОВКИ.....	68
ДОДАТКИ.....	72
ДОДАТОК А - Розробка та аналіз технічного завдання	73

РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра на тему «Первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в атмосферному повітрі», складається з пояснювальної записки 80 сторінок., 18 рисунків, 19 таблиць, 2 додатків, 19 джерел у переліку посилань, креслень деталей та вузлів 4 формати А1.

У дипломному проекті бакалавра на тему «Первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в атмосферному повітрі» проведено аналітичне дослідження об'єкту вимірювання, а саме описано фізичні, хімічні властивості азоту та оксидів азоту та їх вплив на живі організми й здоров'я людини. Після чого нами виконано огляд та аналіз методів вимірювання концентрації оксидів азоту методами Зальцмана, спектрофотометричним методом, газохроматографічним методом методом Орса, колориметричним методом, електрохімічним методом, хемілюмінісцентним методом. На основі проведеного аналізу існуючих можливих методів та виходячи з того, що завдання вимагає створення первинного вимірювального перетворювача з високою чутливістю, був обраний хемілюмінесцентний метод, який є найбільш привабливим для застосування. Принцип дії хемілюмінесцентного методу полягає в тому, що внаслідок реакції оксиду азоту з озоном утворюється діоксид азоту з певною часткою молекул в збудженому стані, які при переході в основний стан випромінюють інфрачервоний квант світла.

У роботі проведено огляд існуючих приладів-аналогів для вимірювання концентрації суми оксидів азоту, а саме, газоаналізатор Т200, аналізатор оксидів азоту СМ2041, газоаналізатор АРНА-370, хемілюмінісцентний аналізатор оксидів азоту BRO 0286-Serinus 40, аналізатор 645 ХЛ 10. За прототип для проектування у дипломному проекті обираю аналізатор 645 ХЛ 10, оскільки його конструкція та технічні характеристики найбільш відповідають поставленим вимогам у технічному завданні до дипломного проекту.

У дипломі розроблено схему комбіновану первинного вимірювального перетворювача (ПВП) для газоаналізатора суми оксидів азоту в атмосферному повітрі. Поведено дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі. Виконано розрахунок функції перетворення первинного вимірювального перетворювача.

У проєкті проведено вибір світлових фільтрів, розрахунок реакційної камери, вибір фотоелектронного помножувача, розрахунок порогу чутливості аналізатору. Також виконано опис конструкції первинного вимірювального перетворювача та описано схеми електричної принципової для аналізатору оксидів азоту. Оформлено пояснювальну записку та підготовлено комплект креслень відповідно до технічного завдання до дипломного проєкту бакалавра.

ОКСИДИ АЗОТУ, ПЕРВИННИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ
ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, КОНЦЕНТРАЦІЯ,
ХЕМІЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ, ВИМІРЮВАННЯ.

ABSTRACT

The bachelor's degree project on "Primary measurement converter of the sum of nitrogen oxides in the atmospheric air", consists of an explanatory note 80 pages.

In the diploma project of the bachelor on "Primary measurement converter of concentration of the sum of nitrogen oxides in the atmospheric air" analytical object of measurement was carried out, namely the physical, chemical properties of nitrogen and oxides of nitrogen and their influence on living organisms and human health are described. After that, we performed an overview and analysis of methods for measuring the concentration of nitrogen oxides by the Salzman method, spectrophotometric method, gas chromatographic method Ors, colorimetric method, electrochemical method, chemiluminescent method. Based on the analysis of existing possible methods and on the assumption that the task requires the creation of a primary high-sensitivity transducer, the chemiluminescent method that is the most attractive to use is selected. The principle of the chemiluminescent method is that as a result of the reaction of nitric oxide with ozone, nitrogen dioxide is formed with a certain fraction of molecules in the excited state, which, when passing to the ground state, emit an infrared quantum of light.

The review of existing analogue devices for measuring the concentration of the amount of nitrogen oxides was carried out, and the gas analyzer T200, the analyzer of nitrogen oxides CM2041, the gas analyzer APNA-370, the chemiluminescent analyzer of nitrogen oxides for the project BRO 0286-Serinus 40L in the diploma project the analyzer 645 CL 10 is selected because its design and technical characteristics most meet the requirements in the terms of reference for the diploma project.

The diploma developed a scheme of combined primary measuring transducer (PVP) for the gas analyzer of the sum of nitrogen oxides in the atmospheric air. The characteristics of chemiluminescence of nitrogen oxides in

atmospheric air are investigated. The conversion function of the primary measuring transducer has been calculated.

The project made the choice of light filters, the calculation of the reaction chamber, the choice of photoelectron multiplier, the sensitivity threshold of the analyzer. Also, a description of the design of the primary measuring transducer is made and the schematic diagrams of the electrical principal for the nitrogen oxide analyzer are described. An explanatory note was drawn up and a set of drawings was prepared in accordance with the terms of reference for the bachelor's degree project.

Nitrogen Oxides, Primary Measurement Converter, Atmospheric Air, Concentration, Chemiluminescence, Measurement.

STRESZCZENIE

Projekt licencjacki dotyczący „Pierwotnego konwertera pomiarów sumy tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym” składa się z noty wyjaśniającej 80 stron.

W projekcie dyplomowym licencjata „Podstawowy konwerter pomiaru stężenia sumy tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym” wykonano analityczny obiekt pomiaru, a mianowicie fizyczne, chemiczne właściwości azotu i tlenków azotu oraz ich wpływ na organizmy żywe i zdrowie ludzi. Następnie dokonaliśmy przeglądu i analizy metod pomiaru stężenia tlenków azotu metodą Salzmana, metody spektrofotometrycznej, metody chromatografii gazowej Ors, metody kolorymetrycznej, metody elektrochemicznej, metody chemiluminescencyjnej. Na podstawie analizy istniejących możliwych metod i zakładając, że zadanie wymaga stworzenia przetwornika pierwotnego o wysokiej czułości, wybrano metodę chemiluminescencyjną, która jest najbardziej atrakcyjna w użyciu. Zasada metody chemiluminescencyjnej polega na tym, że w wyniku reakcji tlenku azotu z ozonem powstaje dwutlenek azotu z pewną frakcją cząsteczek w stanie wzbudzonym, które przechodząc do stanu podstawowego emitują kwantowe światło podczerwone.

Przeprowadzono przegląd istniejących urządzeń analogowych do pomiaru stężenia ilości tlenków azotu, a analizator gazu T200, analizator tlenków azotu CM2041, analizator gazu APNA-370, analizator chemiluminescencyjny tlenków azotu dla projektu BRO 0286-Serinus 40L w projekcie dyplomowym wybierany jest analizator 645 CL 10, ponieważ jego konstrukcja i parametry techniczne najbardziej spełniają wymagania określone w zakresie wymagań i obowiązków dla projektu dyplomowego.

Dyplom opracował schemat połączonego pierwotnego przetwornika pomiarowego (PVP) dla analizatora gazu sumy tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym. Badana jest charakterystyka chemiluminescencji tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym. Obliczono funkcję konwersji pierwotnego przetwornika pomiarowego.

W ramach projektu dokonano wyboru filtrów światła, obliczenia komory reakcyjnej, wyboru mnożnika fotoelektronowego, progu czułości analizatora. Wykonano także opis budowy pierwotnego przetwornika pomiarowego i opisano schematy elektryczne głównej analizatora tlenku azotu. Sporządzono notę wyjaśniającą i przygotowano zestaw rysunków zgodnie z zakresem zadań projektu licencjata.

TLENKI AZOTU, PIERWOTNY PRZETWORNIK POMIAROWY,
POWIETRZE ATMOSFERYCZNE, STĘŻENIE, CHEMILUMINESCENCJA,
POMIAR.

ВСТУП

З кінця двадцятого сторіччя відбулась тенденція зниження викидів забруднюючих речовин. Проте, це, на жаль, сталося не через політичні кроки української влади, а через зменшення кількості підприємств та виробництв. На сьогоднішній 2020 рік масштаби виробництва знижені вдвічі у порівнянні з кінцем двадцятого сторіччя.

Хоча, не можемо сказати про зниження рівня концентрації оксидів азоту у атмосферному повітрі, їх частка зростає.

Оксиди азоту в значній кількості виділяються при роботі ТЕС, двигунів внутрішнього згоряння і в процесі травлення металів азотною кислотою. Виробництва вибухових речовин і азотної кислоти також є джерелами викидів оксидів азоту в атмосферу.

Оксиди азоту беруть участь в утворенні кислотних дощів. Азотна кислота, яка утворюється з оксидів азоту, становить близько 35% від всіх кислот, що містяться в дощовій воді.

Оксиди азоту беруть участь в утворенні фотохімічного смогу, що призводить до вторинного забруднення атмосфери міст. До фотохімічних процесам, характерним для південних сонячних міст, відносяться процеси утворення пероксіяцетілнітратів (ПАН), які при концентраціях 0,1-0,5 мг / м³ можуть викликати подразнення слизової оболонки очей і загибель рослин. Наявність ПАН в атмосфері характерно для так званого «літнього» або лос-анджелеського смогу. Рівень фотохімічного забруднення повітря тісно пов'язаний з режимом руху автотранспорту. Так, в період високої інтенсивності руху вранці і ввечері відзначається максимум викидів в атмосферу оксидів азоту і вуглеводнів, хімічну взаємодію яких обумовлює фотохімічні забруднення повітря.

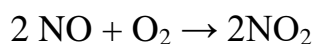
Високі рівні оксидів азоту призводять до почастищення випадків катару верхніх дихальних шляхів, бронхіту і запалення легенів у населення. Люди з

хронічними захворюваннями дихальних шляхів (наприклад, астма або емфізема легенів), а також особи, які страждають серцево-судинними захворюваннями, можуть бути більш чутливими до прямих впливів оксидів азоту. У осіб, які страждають хронічними серцево-судинними захворюваннями і захворюваннями дихальних шляхів, в присутності оксидів азоту легше розвиваються ускладнення при короткочасних респіраторних інфекціях.

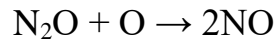
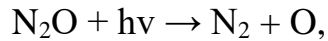
Азот утворює сім оксидів, з них тільки монооксид і діоксид, NO і NO₂, відносяться до небезпечних забруднюючих речовин, причому діоксид більш небезпечний, ніж монооксид. У природних умовах в атмосфері кількість оксидів азоту вимірюється частками відсотків. Азоту на планеті щорічно мобілізується близько 140 мільйонів тон. Забруднення оксидами азоту відбувається і на локальному, і на глобальному рівні.

Техногенні джерела надходження оксидів азоту в атмосферу: а) енергетика, спалювання палива; б) автотранспорт; в) промисловість (кольорова металургія, коксохімічна і нафтохімічна галузі).

Основним джерелом утворення техногенних оксидів азоту (до 80% від усього обсягу) є азот палива. При згорянні палива в будь-яких двигунах перш за все з'являється монооксид азоту. Утворюється він переважно при високих температурах, властивих полум'я, як наслідок взаємодії атмосферного азоту з киснем. Це так званий термічний NO. У зоні горіння можуть виникати відносно високі концентрації NO₂ з наступним перетворенням назад в NO в післяпламенної зоні. Окислення NO до NO₂, так само як і сірчистого ангідриду до сірчаного, відбувається в тропосфері під дією тих же чинників: фотохімічні окислення, окислення молекулярним, атомарним киснем, озоном.



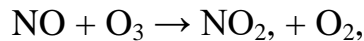
Опиняючись в стратосфері під дією сонячних променів (при λ 430 нм), діоксид азоту піддається фотодиссоціації (фотолізу):



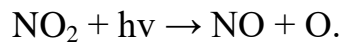
Так потрапив в тропосферу з емісією газів N_2O стає основним джерелом NO в стратосфері.

Особливість циклу азоту в тому, що утворюється атомарний кисень здатний в свою чергу окисляти монооксид азоту до діоксиду.

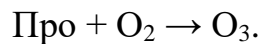
Додатково NO швидко взаємодіє з озоном:



NO_2 швидко піддається фотолізу:



Молекулярний кисень взаємодіє з атомарним киснем з утворенням озону:



Озон в свою чергу теж піддається фотолізу.

Є відомості (Фельдман, 1975), що озоном, що становить основну частину атмосферних оксидантів, може бути обумовлений фотохімічний туман в атмосфері, який викликає токсичний ефект. Порогової (по запаху) концентрацією озону в повітрі найчастіше приймають концентрацію $0,02 \text{ мг / м}^3$. Негативний вплив озону на живі організми імовірно пов'язано з виникненням вільних радикалів, що викликають в організмах клітинні пошкодження. У людей наслідком цього може бути порушення респіраторної функції. Таким чином, в атмосферному повітрі здійснюється конверсія NO і NO_2 , яка залучає у взаємодію забруднюючі органічні речовини з утворенням більш токсичних сполук, наприклад нітрозозєднаний, нітроПАУ і інше.

В атмосфері відбувається розсіювання газів і їх розведення атмосферним повітрям. Токсичність NO_2 вище, ніж NO . У зв'язку з цим гранично допустимий рівень вмісту оксиду азоту в повітрі становить $0,6 \text{ мг / м}^3$, а діоксиду азоту - майже на порядок нижче - $0,085 \text{ мг / м}^3$. Перетворення оксидів азоту в атмосфері може супроводжуватися утворенням більш токсичних речовин. Наприклад, що утворилися при фотодиссоціації діоксиду

азоту атомарний кисень і озон окислюють вуглеводні з утворенням формальдегіду, ПАН і інших небезпечних токсичних продуктів. Взаємодія NO з толуолом веде до утворення нітрофенолів - високотоксичних речовин.

Є відомості, що оксид азоту діє на центральну нервову систему, при великих концентраціях переводить оксигемоглобін крові в метгемоглобін. Діоксид азоту сприяє розвитку емфіземи легенів, астми, порушення легеневої функції.

В середині двадцятого сторіччя однією з основних причин закислення ґрунтів на великих територіях стає господарська діяльність людини. Розвиток індустрії призвело до викидів в атмосферу викиди з виробництв, а саме, оксиди сірки, оксиди азоту та інші оксиди та сполуки. Перераховані оксиди трансформуються за допомогою хімічних реакцій у кислоти та потрапляють у ґрунти та водойми у вигляді дощів. Такий спосіб опадів у простих людей отримав назву кислотні дощі. Адже після таких опадів, люди спостерігали за пожовклим листям на городині та деревах.

За підрахунками вчених маса газів, що ведуть до утворення «кислих дощів», досягає на планеті 270-900 мільйонів тон на рік. І хочемо зазначити, що з кожним роком ці цифри зростають не тільки в нашій країні, а й у всьому світі, особливо в промислових регіонах, спостерігається глобальне збільшення кислотності дощової і снігової води.

РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика об'єкту аналізу

1.1.1 Фізико-хімічні властивості оксиду азоту та діоксиду азоту

Оксид азоту – NO, безбарвний газ без запаху, не горить і слабо розчинний у воді. Рідкий оксид азоту кипить при температурі 151,7°C та переходить в твердий стан при температурі 163,7°C [1]. Не взаємодіє з розчинами кислот та луг. Може вступати в реакцію приєднання з рядом солей, з галогенами, органічними з'єднаннями. На повітрі NO окисляється до діоксиду NO₂. Оксид азоту є одним з продуктів каталітичної термічної дисоціації аміаку в присутності кисню [2].



NO також утворюється при термічному розкладанні азотної кислоти. Оксид азоту можна отримати синтезом з простих речовин (N₂ і O₂) при дуже високих температурах, наприклад в електричному розряді. В структурі молекули NO є один не спарений електрон. З'єднання з такою структурою взаємодіють з електричним та магнітним полями. В рідинному або твердому стані оксид має блакитне забарвлення, оскільки не спарений електрон викликає часткову асоціацію в рідинному стані та слабку димеризацію в твердому стані[3]:



Діоксид азоту NO₂ жовто-коричневий газ із гострим їдким запахом, токсичний, важче повітря, легко зріджується. Газоподібний NO₂ токсичний й являє собою сильний корозійно-активний агент. Молекула діоксиду азоту поглинає світло в більшій частині видимої області спектра. Внаслідок цього в атмосфері NO₂ здатний утворювати жовтуватий або жовтогарячий серпанок [2]. Він легко згущується в червонувату рідину (температура кипіння 21°C), яка при охолодженні поступово світлішає і при температурі 11,2°C замерзає, утворюючи безкольорову кристалічну масу.

При нагріванні діоксиду азоту його забарвлення, навпаки, підсилюється, а при 140°C стає майже чорним. Зміна забарвлення при підвищенні температури супроводжується і зміною його молекулярної маси [1].

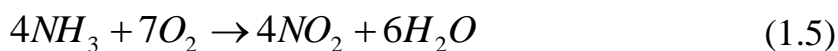
В нормальних умовах NO₂ знаходиться в суміші з його безколірним дімером N₂O₄, приблизно 1 до 1. Взаємодіє з водою:



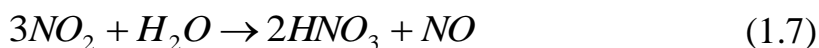
і розчинами луг:



NO₂ утворюється каталітичним окисленням аміаку в надлишку кисню або окисленням NO на повітрі:



Сильний окислювач. Багато речовин (вугілля, сірка, фосфор, органічні з'єднання) можуть горіти в NO₂. Цей оксид окисляє SO₂ до SO₃, на ця реакція покладена в основу методу отримання сірчаної кислоти. NO₂ реагує в теплій воді з утворенням азотної кислоти:



Технологія NO₂ дуже суттєва як проміжна стадія отримання промислово вагової сировини – азотної кислоти [4].

Однією з особливостей діоксиду азоту є сильне поглинання ультрафіолетового випромінювання в області довжин хвиль 0,3 – 0,4 мкм.

ГДК в атмосферному повітрі населених місць: оксиду азоту максимально разова – 0,4 мг/м³, середньодобова – 0,06 мг/м³; діоксиду азоту максимально разова – 0,2 мг/м³, середньодобова – 0,04 мг/м³.

1.1.2 Джерела надходження оксидів азоту до навколишнього середовища

В місцях активної діяльності людини спостерігається значне підвищення концентрацій шкідливих речовин, досить велика частина цих речовин потрапляє в повітря. Серед оксидів азоту найбільш розповсюдженими забруднювачами є оксид (NO), діоксид (NO₂) та їхня суміш (NO_x). Ці сполуки потрапляють в атмосферу з димовими газами теплоенергетичних, металургійних підприємств, з викидами заводів, які виробляють азотні мінеральні добрива. Майже усі виробничі об'єкти нафтової і газової промисловості, якщо не прийняті спеціальні міри, забруднюють оксидами азоту повітряний простір. Також слід відзначити, що зі значним розвитком транспортних засобів, які мають двигуни внутрішнього згорання, особливо автотранспорту, основну частку в забрудненні атмосферного повітря вносять відпрацьовані гази цих засобів.

В умовах підвищеної температури, при якій відбувається згорання палива в двигуні автомобіля, починається взаємодія між киснем та азотом, які входять до складу атмосферного повітря. Атомарний кисень, якій утворюється при дисоціації молекул кисню, здатний розщепити молекулу відносно інертного азоту, ініціюючи ланцюгову реакцію:



В наслідок утворюється оксид азоту, який потрапляючи в атмосферу, окислюється киснем, перетворюючись в діоксид азоту.

Інший спосіб утворення оксиду азоту NO – фотоліз молекули NO₂ квантом світла з довжиною хвилі 0,3÷0,4 мкм, утворюється дві активні частинки: NO і O.

Якщо в атмосфері міститься мало молекул кисню, то діоксид азоту NO₂ взаємодіє з атомарним киснем, який утворюється при фотолізі NO₂. Таким чином, в атмосфері накопичується велика кількість NO, в край небезпечного

для людини.

Ситуація погіршується тим, що NO повільно відновлюється до NO₂. Цей процес стає суттєвим в нічний час, коли пряме випромінювання від сонця відсутнє.

В денний час озон повільно реагує з NO₂, утворюючи радикал NO₃, який в свою чергу вступає в реакції з NO і NO₂. Одним з кінцевих продуктів цієї реакції є N₂O₅. Якщо в атмосфері є водяний пар, то N₂O₅ може вступити в реакцію з водяним паром і продуктом цієї реакції є азотна кислота – HNO₃.

1.1.3 Вплив оксидів азоту на здоров'я людини

Оксиди азоту можуть негативно впливати на стан здоров'я кожної людини або тварини. Екстримально великі (ті, що перевищують гранично допустимі значення у рази) концентрації впливають значно сильніше, у порівнянні з інтегрованою дозою. Наприклад, короточасний вплив 3000 – 9400 мкг/м³ діоксиду азоту викликає зміни в легенях. Крім підвищеної сприйнятливості до респіраторних інфекцій, вплив діоксиду азоту може привести до бронхостенозу (звуження просвіту бронхів) у чутливих людей. Дослідження показали, що для хворих астмою та аналогічних хворих підвищується ризик негативних легеневих ефектів при вмісті діоксиду азоту значно меншому, ніж той, при якому не спостерігається реакція у здорових людей [3].

До найбільш відомих проявів впливу на організм людини відносяться подразнення слизової оболонки очей, носоглотки, зовнішніми ознаками котрого є сльозотеча та кашель. Під впливом цих сполук на легені зменшується життєва ємність, збільшується опір каналів легенів, що призводить до ускладнення дихання. Вплив токсичних газів на функцію легенів посилюється при підвищенні температури.

Крім прямого впливу на слизисту оболонку, органи дихання – ці сполуки можуть впливати і на діяльність мозку, це проявляється в порушенні

α -ритму [3].Значимість атмосферних ефектів оксидів азоту пов'язана з погіршенням видимості. Оксиди азоту грають важливу роль в утворенні фотохімічного смогу.

1.2 Аналіз методів вимірювання концентрації оксидів азоту

1.2.1 Метод Зальцмана

Принцип методу заснований на утворенні барвника при взаємодії діоксиду азоту з сульфаніловою кислотою з етилен-діаміндігідрохлоридом в оцетно-кислотному середовищі. Оптична густина розчину, яка знаходиться фотометричним шляхом при довжині хвилі світла, яка дорівнює 550 нм, пропорційна кількості діоксиду азоту, який був поглинутий розчином. Після проведення вимірювань оптичної густини поглинача за допомогою калібрувального графіка визначається концентрація діоксиду азоту в повітрі. Поріг виявлення діоксиду азоту при використанні цього методу складає 0,1 мкг в об'ємі проби, що аналізується.

Недоліки:

- при вимірюванні впливає озон (при концентрації вище $0,2 \text{ млн}^{-1}$) та діоксид сірки (концентрація якої в 10 раз перевищує концентрацію діоксиду азоту);
- складна вимірювальна апаратура;
- необхідність постійного нагляду за ходом вимірювань;
- при підготовці апаратури до роботи та проведенню вимірювань потрібні висококваліфіковані хіміки;
- аналіз потребує багато часу в залежності від концентрації.

1.2.2 Спектрофотометричний метод

Кількість діоксиду азоту в повітрі можна визначити по поглинанню світла діоксидом азоту в видимому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль.

Принцип полягає в вимірюванні долі енергії джерела випромінювання,

яка поглинається в кюветі, заповненій повітрям, що аналізується, і в кюветі порівняння, яка заповнена очищеним газом, який не містить діоксиду азоту.

Суть методу в наступному: у вимірювальну кювету закачується досліджуваний газ, а кювета побудована таким чином, що в одному її торці розташований інфрачервоний випромінювач, в іншому - приймач випромінювання. Досліджуваний газ, внаслідок своїх фізичних властивостей, поглинає визначену кількість інфрачервоного випромінювання. Таким чином, по різниці випроміненого і прийнятого сигналу можна обчислити концентрацію досліджуваного компонента. Оскільки поглинання світла в вимірювальній кюветі може бути обумовлене й іншими газовими домішками, які знаходяться в повітрі, що аналізується (озон, діоксид сірки), вимірювання концентрації діоксиду азоту доцільно проводити в узькому спектральному інтервалі світлових довжин хвиль (менше 0,1 нм), який співпадає з положенням ліній поглинання діоксиду азоту.

Однак даний метод аналізу, стосовно оксидів азоту, володіє малою селективністю тому що, здатність поглинати інфрачервоне випромінювання властива багатьом речовинам, які присутні в атмосферному повітрі. Внаслідок цього практично неможливо уникнути їхнього впливу в процесі виміру концентрації оксидів азоту.

Переваги:

- можливість автоматизації процесу виміру;
- широкий діапазон вимірювання концентрації оксидів азоту;
- висока точність виміру концентрації.

Недоліки:

- низька селективність;
- невисока швидкодія.
- низька чутливість.

1.2.3 Газохроматографічний метод

Визначення вмісту діоксиду азоту відбувається наступним чином: потік газу-носія та пробу повітря пропускають через колонку, яка заповнена сорбентом, на колонці відбувається розділення мікродомішок, які входять до складу проби повітря.

Для вимірювання концентрації діоксиду азоту в повітрі використовують детектор.

Недоліки:

- низька чутливість.

Переваги:

- висока селективність.

1.2.4 Метод Орса

Даний метод полягає в наступному. Фіксована кількість аналізуемого повітря послідовно проходить через камери, які заповнені хімічними реактивами, підібраними таким чином, що кожен з них поглинає один з компонентів газів, що знаходяться в атмосфері. На підставі різниці обсягів проби газів до і після поглинання визначається об'ємний зміст аналізованого компонента (NO , $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$).

Переваги:

- простота реалізації;
- низька собівартість процесу виміру.

Недоліки:

- тривалий час визначення концентрації окислів азоту;
- неможливість автоматизації процесу;
- неможливість ведення безперервного процесу виміру;
- необхідність частого відновлення реактивів.

1.2.5 Колориметричний метод

Колориметричний метод полягає у виборчому впливі реагуючої речовини на ту, яку визначаємо. Зміна фарбування розчину вимірюється фотоколориметром, і по калібрувальній діаграмі визначається вміст окислів азоту. Досить часто використовують методи засновані на реакції окислення оксидів азоту до азотної кислоти при пропусканні проби повітря крізь рідинний або твердий поглинач.

Кількість утвореної азотної кислоти може бути визначено титруванням, колориметричного або потенціометричного з використанням нітратних електродів.

При використанні методу титрування азотної кислоти пробу повітря відбирають в вакуумний посуд, в який додається вода або розчин перекису водню. Потім азотну кислоту титрують 0,01% розчином лугу. Цей метод досить широко використовувався при вимірюванні концентрації оксидів азоту у викидах в атмосферу продуктів азотно-кислотного виробництва, продуктів згоряння органічного палива. Як правило, метод використовується для визначення концентрації оксидів азоту в повітрі $0,1-1 \text{ млн}^{-1}$ при об'ємі повітря 2,5 літрів. Вміст азотної кислоти може бути визначеним і колориметрично з використанням фенолдісульфокислоти. Визначення поглинаючого розчину з додаванням дісульфокислоти проводиться в оптичному діапазоні при $\lambda=410 \text{ нм}$. Границя знаходження сумарної концентрації окислів азоту за допомогою колориметричного методу складає 1 млн^{-1} при об'ємі проби повітря 2,5 літрів.

Як метод титрування азотної кислоти, так і колориметричний метод визначення сумарної кількості окислів азоту в повітрі не є селективними, і на результати вимірювань можуть впливати двоокис сірки, аерозолі сульфатів та нітратів. Доволі низька чутливість цих методів дозволяє використовувати їх лише в умовах забрудненої атмосфери або в безпосередній близькості до джерела забруднення повітря оксидами азоту.

Переваги:

- простота;
- низька вартість;
- відсутність складної вимірювальної апаратури.

Недоліки:

- низька точність визначення концентрації оксидів азоту;
- відсутність можливості ведення безперервного аналізу;
- необхідність постійної присутності оператора в процесі виміру;
- низька швидкодія.

1.2.6 Електрохімічний метод

1.2.6.1 Потенціометричний метод

Потенціометричне визначення NO_2^- і NO_3^- засновано на титруванні в середовищі 80 % H_2SO_4 розчином хлориду титана (III). В якості індикаторного електрода використовується Pt-електрод. При цьому спостерігається два стрибки, які відповідають відновленню NO_2 і NO , яке протікає ступінчато, за участю радикалів NO_2^+ і NO^+ [6].

Недоліки:

- низька селективність;
- неможливість побудувати автоматичний газоаналізатор;
- низька чутливість.

1.2.6.2 Метод амперметричного титрування

Запропоновано метод амперметричного титрування в середовищі безводної оцетної кислоти з використанням обертаючого мідного та срібного амальгамного електродів. Конструкція електродів дозволяє дуже швидко отримувати та відновлювати шар амальгами. Максимальна відносна похибка

складає $\pm 45\%$. Тривалість одного вимірювання близько 10 хвилин.

Недоліки:

- низька селективність;
- неможливість побудувати автоматичний газоаналізатор;
- низька чутливість.

1.2.7 Хемілюмінесцентний метод

Для безперервних спостережень за концентрацією оксидів азоту застосовується одна з модифікацій хемілюмінесцентного методу.

Принцип хемілюмінесценції полягає в тому, що внаслідок реакції оксиду азоту (NO) з озоном (O_3) утворюється діоксид азоту (NO_2) з певною часткою молекул NO_2^* в збудженому стані, які при переході в основний стан випромінюють інфрачервоний квант світла [7]

Інтенсивність випромінювання при сталій концентрації озону прямо пропорційна концентрації оксиду азоту. Випромінювання фіксується за допомогою фотоелектронного помножувача. При поверненні збуджених молекул NO_2 в основний стан випромінюється квант $h\nu$ з довжиною хвиль 590 – 2500 нм в близькій інфрачервоній області з максимумом випромінювання на довжині 1200 нм [8]. Хемілюмінесцентний метод вимірювання концентрації оксидів азоту є стандартним для розробки автоматичних газоаналізаторів контролю забруднення навколишнього середовища майже у всіх розвинених країнах світу.

Переваги:

- висока швидкодія;
- висока селективність;
- можливість автоматизації процесу виміру, а також сполучення з ЕОМ;
- широкий діапазон вимірюваних концентрацій оксиду азоту;

- висока точність вимірів;
- висока чутливість.

Недоліки:

- необхідність застосування складної електронної апаратури;
- використання дорогих елементів приладу, для реалізації даного методу.

Отже на основі проведеного аналізу існуючих можливих методів та виходячи з того, що завдання вимагає створення первинного вимірювального перетворювача з високою чутливістю, був обраний хемілюмінесцентний метод, який є найбільш привабливим для застосування. Переваги цього методу значно перебільшують недоліки, тому для визначення оксидів азоту ми будемо використовувати саме цей метод.

1.3 Огляд сучасних приладів-аналогів

Фірма Teledyne Instruments (США) випускає газоаналізатор моделі T200 для контролю концентрації оксидів азоту в повітрі (рисунок 1.1)[9].



Рис. 1.1 – Газоаналізатор T200 фірми Teledyne Instruments

Модель T200 використовує метод хемілюмінісценції поєднаний з сучасною мікропроцесорною технологією, щоб забезпечити точні вимірювання низьких рівнів концентрації NO, NO₂ та NO_x в повітрі. Технічні

характеристики газоаналізатору приведені в таблиці 1.1 [9].

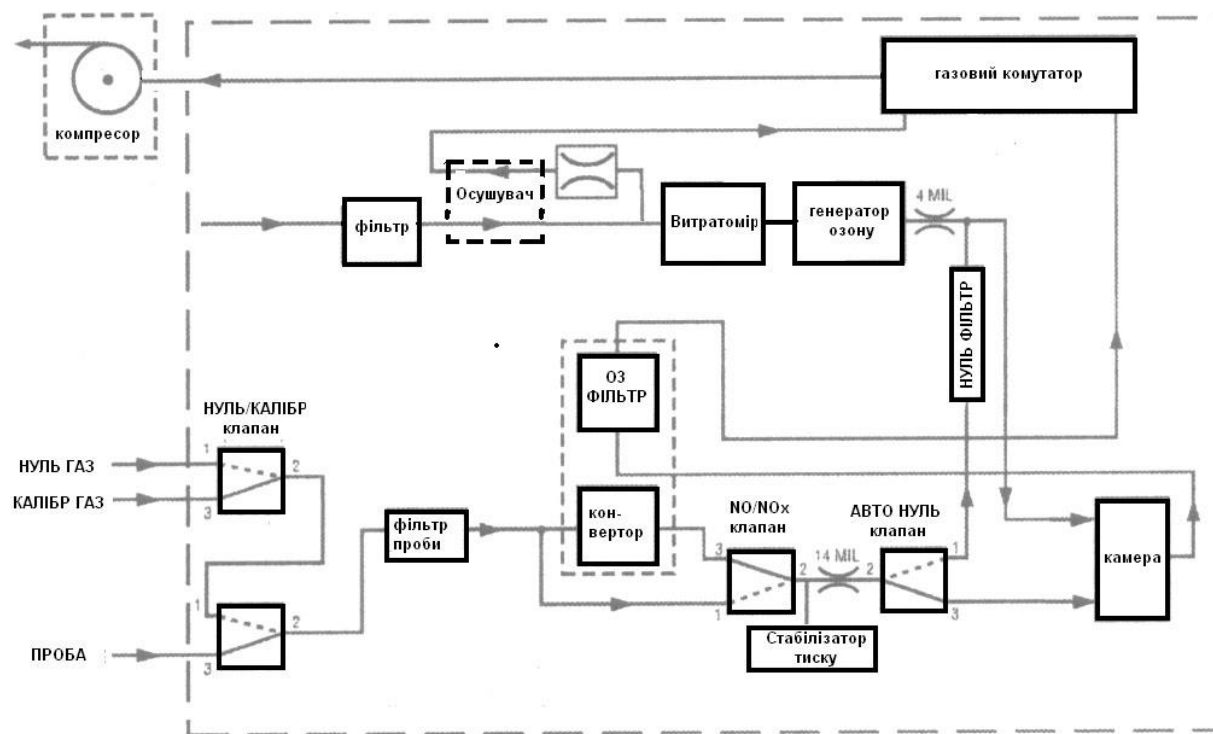


Рис. 1.2 Схема комбінована структурна газоаналізатору T200

- 1 – генератор озону; 2 – реакційна камера; 3 – оптичний світлофільтр;
 4 – фотоелектронний помножувач (ФЕП); 5 – підсилювач; 6 – блок реєстрації
 і обробки інформації; 7 – термокаталітичний конвертор;
 8 – пневмоелектроклапан.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики аналізатору Teledyne Instruments

Діапазони	від 0 – 50 ppb до 0 – 20 ppm
Одиниці	Ррb, ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3
Дрейф нуля, ppb\24 год.	< 0,5
Дрейф чутливості, %	< 0,5
Межа детектування, ppb	0,4
Час реагування, с	20
Лінійність, %	1

Точність, %	<0,5
Витрата проби, см ³ /хв	500 ±10 %
Робоча температура, °C	Від 5 до 40
Розміри, мм	178 x 432 x 597
Вага, кг	18
Потужність, Вт	200 Вт
Роз'єми	RS-232, Ethernet

Аналізатор оксидів азоту CM2041 фірми Casella Monitor, Шотландія, зображено на рисунку 1.3[10].



Рис. 1.3 – Аналізатор оксидів азоту CM2041

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики газоаналізатору CM2041

Діапазон, ppm	від 0 – 0,05 до 0 – 20
Шум, ppb	0,25
Чутливість, ppb	< 0,5
Дрейф нуля:	
від температури, ppb\°C	< 0,1
від часу, ppb\24 год	< 1
Дрейф чутливості, % \ 24 год	< 0,5
Час реакції, с	< 25

Похибка нелінійності, %	1
Витрата газу, л/хв	0,6
Потужність, Вт	264
Габаритні розміри, мм	432 x 178 x 648
Цифровий вихід	RS 232
Вбудована пам'ять, Гб	2
Маса, кг	26,4
Робоча температура, °C	5 – 40

Японська фірма Horiba, пропонує до уваги газоаналізатор оксидів азоту в атмосферному повітрі APNA-370, який зображено на рисунку 1.4, а технічні характеристики приведено в таблиці 1.3[11].



Рис. 1.3.4 – Газоаналізатор APNA-370

В аналізаторі APNA-370 використовується принцип подвійної перехресної модуляції потоків з використанням хімічної люмінесценції. Така модифікація дозволяє використовувати один тип датчика і забезпечує високу чутливість і стабільність результатів вимірювань в безперервному режимі.

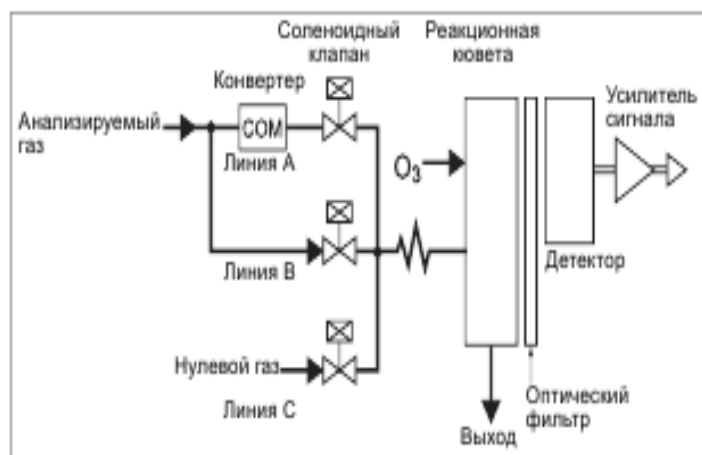


Рис. 1.5– Схема комбінована структурна газоаналізатора APNA–370

Таблица 1.3 – Технические характеристики газоанализатора APNA–370

Діапазон, ppm	0...0,1/0,2/0,5/1
Межа виявлення, ppb	0,5
Відтворюваність, %	±1
Лінійність, %	±1
Час відгуку (T90), с	70
Витрата газу, л/хв	0,8
Вхідні/вихідні сигнали	0–1 В; 0–10 В; 4–20 мА
Інтерфейс вводу/виводу	RS–232C
Температура експлуатації, °C	5–40
Напруга живлення	220В, 50/60 Гц
Габарити, мм	430 x 550 x 221

Фірма Ecotech випускає хемілюмінісцентний аналізатор оксидів азоту BRO0286, який зображено на рисунку 1.6. Технічні характеристики приведено в таблиці 1.4.



Рис. 1.6 – Хемілюмінесцентний аналізатор оксидів азоту BRO 0286-Serinus 40

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики газоаналізатору BRO0286

Діапазони, ppm	0 – 20
Шум, ppb	<0,2
Межа детектування, ppb	1
Час реагування, с	15
Дрейф нуля, ppb\24 год	< 0,4
Дрейф чутливості, % \ 24 год.	< 0,2
Лінійність, %	1
Витрата проби, л\хв	0,3
Час усереднення	від 1 хв. до 24 годин
Розміри, мм	440 x 178 x 620
Вага, кг	21,2
Потужність, Вт	99-132
Робоча температура, °C	від 0 до 40
Цифровий вихід	RS-232

Фірма «ОПТЭК», Росія, випускає хемілюмінесцентний газоаналізатор моделі Р-310А (рисунок 1.7)[12].



Рис. 1.7 – Газоаналізатор Р-310А

Газоаналізатор Р-310А призначений для вимірювання концентрації оксиду та діоксиду азоту в атмосферному повітрі. Газоаналізатор являє собою автоматичний прилад, безперервної дії, має вбудований побудник витрат. Принцип дії газоаналізатора – хемілюмінісцентний. Технічні характеристики газоаналізатору приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики газоаналізатору Р-310А

Діапазон вимірювання, мг/м ³	0 – 1000
Вихідний сигнал	0 – 5 мА або 4–20 мА, RS-232
Середній термін служби газоаналізатора	не менше 6 років
Габарити, мм	482 x 545 x 132
Вага, кг	12
Споживана потужність, Вт	400
Час встановлення показань Т 0,9, с	120
Відносна похибка, %	25
Напруга живлення, В	220
Температура, °С	від 10 до 35

Тиск, мм рт. ст.	630 – 800
Вологість	до 98%
Параметри аналізованого атмосферного повітря на вході	
Температура, °С	+10...+35
Об'ємна витрата, л/хв	1,0 ± 0,2

Український науково–дослідний інститут аналітичного приладобудування випускає газоаналізатор 645 ХЛ 10.



Рисунок 1.8 – Автоматичний газоаналізатор 645ХЛ 10.

Газоаналізатор 645 ХЛ 10 для безперервного автоматичного вимірювання масової концентрації оксиду азоту та діоксиду азоту в атмосферному повітрі. Принцип дії – хемілюмінісцентний. Обробка інформації і керування приладом забезпечується мікропроцесором. Газоаналізатор має реакційну камеру, де проходить взаємодія молекул оксиду азоту з озоном, і фотоелектронний помножувач (ФЕП), реєструючий випромінювання, яке виникає при цьому. На виході ФЕП спостерігається послідовність імпульсів, кількість яких за одиницю часу пропорційна концентрації молекул оксиду азоту в газовому потоці, котрий проходить

через камеру. Технічні характеристики газоаналізатору 645ХЛ 10 приведено в таблиці 1.6 [13].

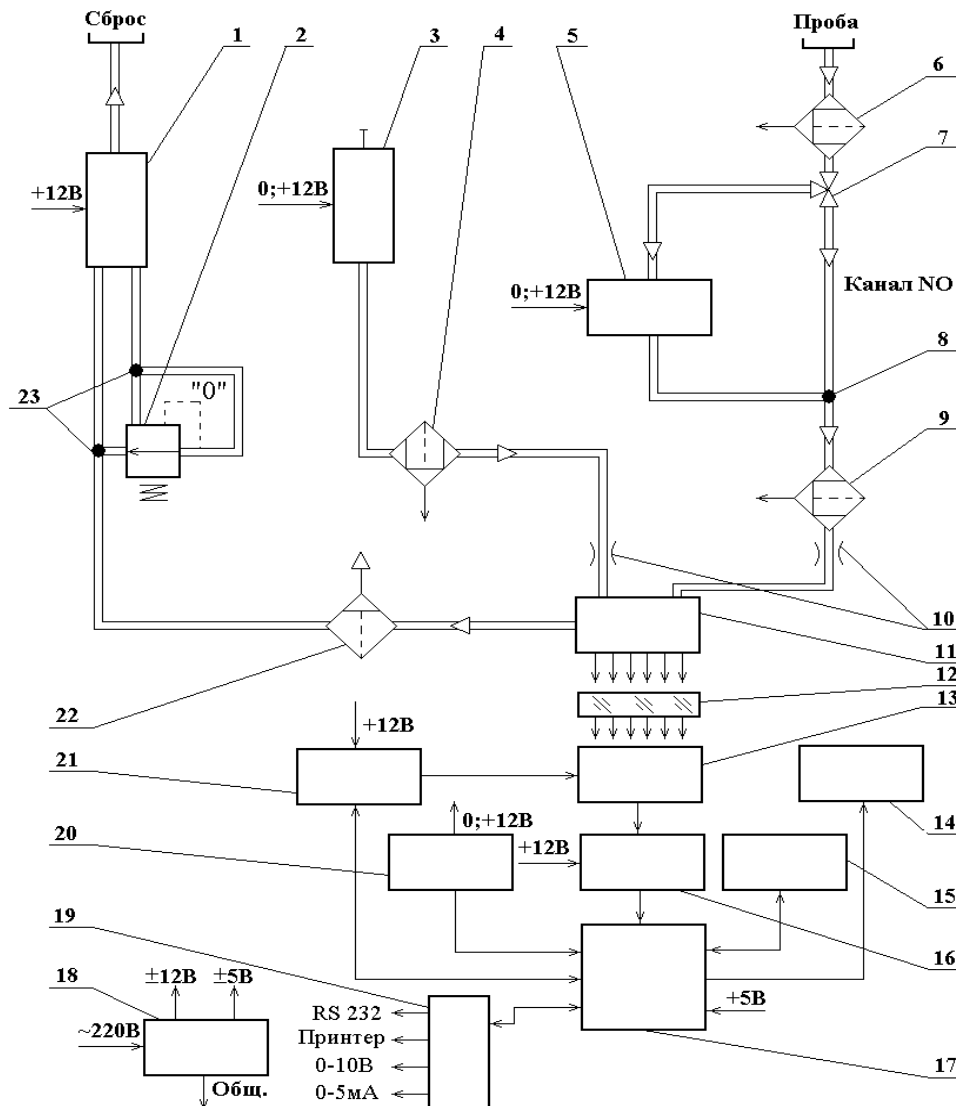


Рис. 1.9 Блок-схема газоаналізатора 645ХЛ 10:

1 -побудник витрат; 2 – регулятор тиску газу; 3 – генератор озону;
4, 6, 9 – фільтр пильовий; 5 – конвертор каталітичний; 7 – клапан електромагнітний; 8 – з'єднувач; 10 – дросель пневматичний; 11 – реакційна камера; 12 – оптичний світлофільтр; 13 – ФЕП; 14 – алфавітно-цифровий індикатор (АЦИ); 15 – клавіатура; 16 – плата дільника напруги та формування сигналів; 17 – мікропроцесорний пристрій; 18 – блок живлення; 19 – плата

вихідних сигналів; 20 – плата з'єднувальна; 21 – плата живлення ФЕП;
22 – фільтр об'ємний; 23 – з'єднувач.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики газоаналізатору 645 ХЛ 10

Діапазон вимірювання, мг/м ³	від 0 до 10,0
Час усереднення, хв.	від 1 до 30
Час виходу на робочий режим, не більше, хв	40
Межа допустимої основної абсолютної похибки, мг/м ³	$\pm (0,005 + 0,15 C_x)$, де C_x – значення вимірюваної концентрації
Гранична чутливість, мг/м ³	0,004
Маса, не більше, кг	10
Живлення	
напруга, В	187...242
частота, Гц	50 ± 1
Потужність, Вт	50
Умови експлуатації:	
температурний діапазон, °С	5...40
вологість, %	95
атмосферний тиск, КПа	86,6...107

Висновок: Було розглянуто промислові зразки сучасних хемілюмінісцентних аналізаторів оксидів азоту для екологічного моніторингу, таких як, Teledyne Instruments, Environment s.a, Casella Monitor, зат Украналіт, Noriba, Оптек та їх конструкцію. Отже, провівши аналітичний огляд, обираємо аналізатор 645 ХЛ 10, оскільки його конструкція та технічні характеристики найбільше відповідають поставленим вимогам.

1.4 Вибір і обґрунтування схеми комбінованої структурної первинного вимірювального перетворювача

ХЛ метод знайшов широке практичне застосування завдяки своїй високій чутливості і селективності. Поріг чутливості ХЛ газоаналізаторів оксидів азоту 10^{-3} - 10^{-4} млн⁻¹. У той же час ХЛ метод дозволяє створити ГА для вимірювання досить високих концентрацій (10^4 млн⁻¹) оксидів азоту.

У нас в країні і за кордоном, зокрема, такими фірмами, як Horiba (Японія), Environnement S. A. (Франція), Monitor Labs (США), Patfish Instruments (Німеччина), Riken Keiki (Японія), Thermo Electron Corporation (США), MLU (Австрія) розроблена широка гама спеціалізованих ХЛ газоаналізаторів для контролю оксидів азоту в атмосферному повітрі.

Існує велика розмаїтість схемотехнічної реалізації вимірювальних схем ХЛ газоаналізаторів. [14]

Основним вузлом ХЛ газоаналізаторів є детектор, який містить проточну реакційну камеру, у якій відбувається перетворення хімічної енергії в енергію квантів. Ефективність такого перетворення визначається, в основному, квантово-механічними параметрами взаємодіючих молекул. Однак, на величину інтенсивності ХЛ емісії, як показано вище, впливають і конструктивні особливості детектора (тиск, температура, витрати газових потоків, співвідношення концентрацій аналізованого компонента і газу-реагенту). Технічні характеристики ХЛ ГА багато в чому визначаються вимірювальною схемою приладу.

На рис.1.10а представлена найбільш проста схема безпосереднього відліку хемілюмінесцентного газоаналізатора для визначення оксиду азоту.

Аналізоване повітря, що містить оксид азоту, через вхідний газопровід надходить до реакційної камери 2. У реакційній камері оксид азоту взаємодіє з озоном, який надходить від генератора озону 1. ХЛ емісія через оптичний світлофільтр 3 надходить до фотоелектричного перетворювача 4, де трансформується у електричний сигнал, який з ФЕП, пропорційний

концентрації оксиду азоту, підсилюється підсилювачем 5, обробляється за спеціальним алгоритмом і реєструється блоком 6.

Оскільки в аналізованій суміші часто крім оксиду азоту присутній діоксид азоту, то в більшості ХЛ ГА передбачена можливість виміру обох оксидів шляхом конверсії NO_2 у NO . На рисунку 1.10б представлена схема безпосереднього відліку ХЛ ГА для визначення оксиду і діоксиду азоту.

У схему ХЛ ГА введений додатковий газовий канал із встановленим у ньому термокаталітичним конвертером 7, завданням якого є перетворення NO_2 у NO . Основний і додатковий газові канали з'єднані з реакційною камерою крізь двоходовий електропневматичний клапан 8.

Аналізована газова суміш, що містить NO і NO_2 , поперемінно подається через клапан у реакційну камеру. В одному випадку сигнал з ФЕП буде пропорційний тільки концентрації NO , а в іншому - концентрації NO_x , тобто сумарній концентрації NO і NO_2 . За різницею цих показів можна судити про концентрацію NO_2 . Недоліком такого способу є затримка в часі між кожним виміром NO і NO_x - близько 1 хв. При вимірі концентрації NO_2 за різницею показів NO_x і NO газоаналізатор у дійсності порівнює концентрації NO і NO_x , що мали місце за одну хвилину до цього. При швидкій зміні концентрації NO і NO_2 ця похибка тимчасового зсуву буде дуже істотною. Для усунення цього недоліку розроблена двоканальна схема ХЛ газоаналізатора з двома реакційними камерами (рисунок 1.10в). Аналізований газ надходить у прилад через вхідний газопровід, де газовий потік розділяється на два канали. Один з'єднується безпосередньо з реакційною камерою 2 (канал NO), а інший з'єднується з реакційною камерою 2' через термокаталітичний конвертор 7 (канал NO_x). Озон надходить в обидві реакційні камери від генератора озону 1. Реакції між NO і O_3 в обох реакційних камерах одночасно викликають ХЛ емісію, яка через оптичні світлофільтри 3 і 3' надходить на ФЕП 4 і ФЕП4', з'єднані з відповідними підсилювачами 5 і 5'. Вихід підсилювача 5 пропорційний

концентрації NO , а підсилювача 5' - концентрації NO_x . У блоку 6 здійснюються відповідні математичні операції із сигналами, що надходять одночасно по кожному з каналів. Таким чином, прилад безупинно показує поточні концентрації NO , NO_2 і NO_x в аналізованому газі. Дана схема вимагає максимально можливого ступеня ідентичності (кореляції) характеристик обох ФЕП, що обумовлює необхідність їх спеціального відбору. Оскільки у вимірювальній схемі з двома фотоприймачами досягти високого ступеня кореляції обох каналів практично дуже складно, була запропонована диференціальна вимірювальна схема ХЛ газоаналізатора з одним фотоприймачем, представлена на рисунку 1.11.

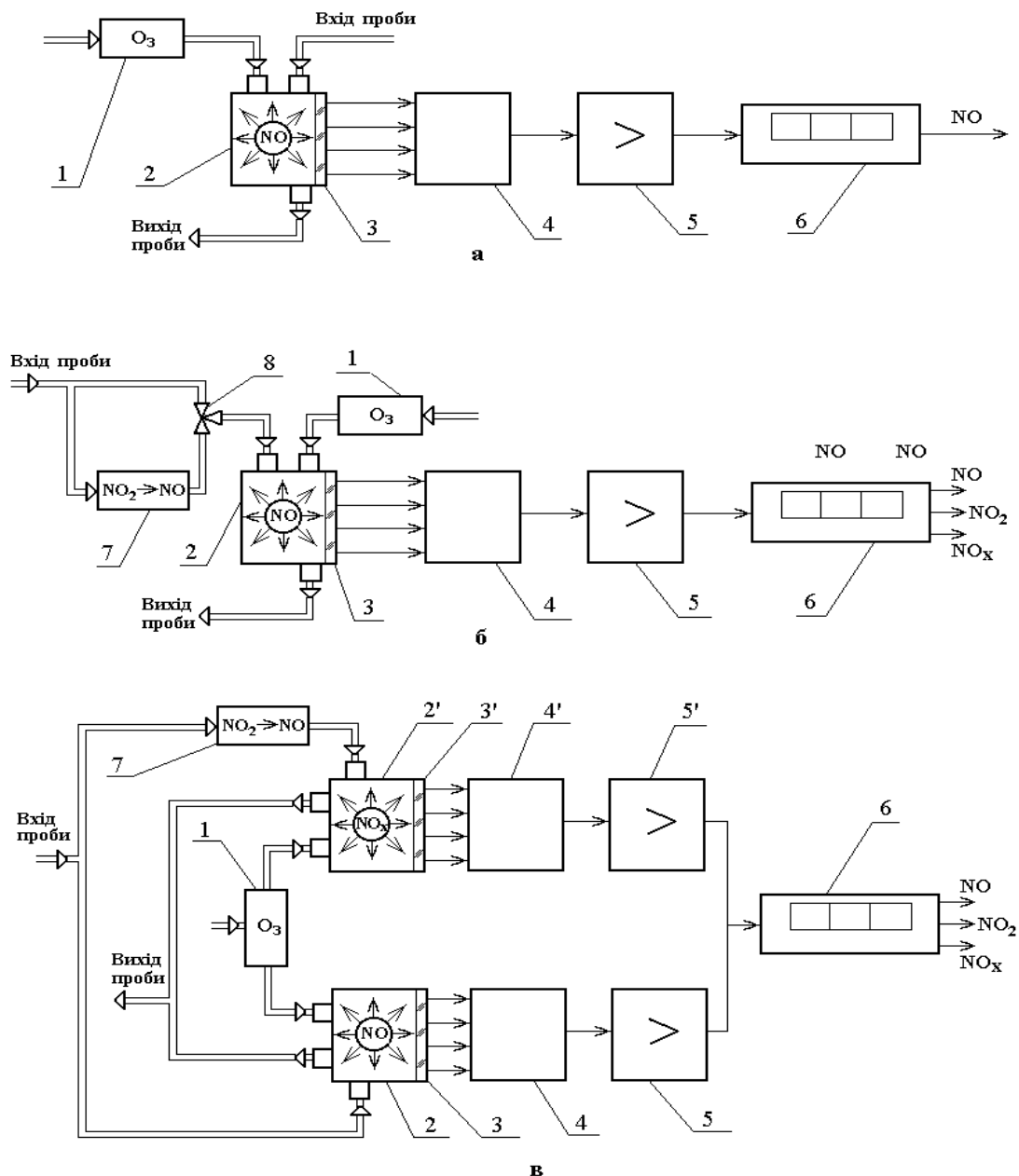


Рисунок 1.10 - Блок-схеми ХЛ ГА безпосереднього відліку:

1 - генератор озону; 2, 2' – реакційні камери; 3, 3' – оптичні світлофільтри;
 4, 4' – фотоелектронний помножувач (ФЕП); 5, 5' – підсилювачі; 6 – блок
 реєстрації і обробки інформації; 7 – термокаталітичний конвертор $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}$;
 8 – пневмоелектроклапан.

Під час експериментальних досліджень знайдено причину нестабільності показників ХЛ ГА, виявилось, що на його чутливість істотний вплив спричиняє дрейф темного струму ФЕП і температурні зміни

навколишнього середовища.

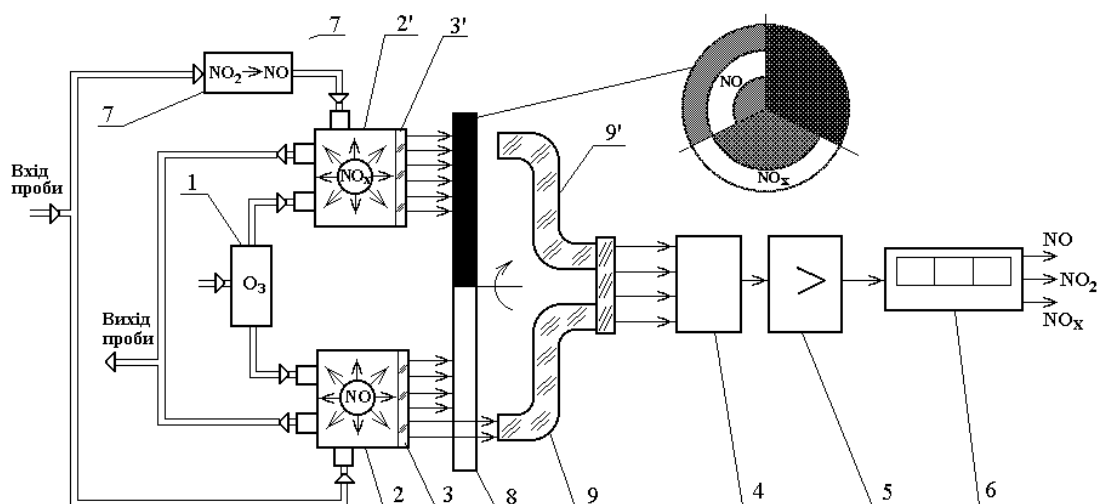


Рис. 1.11 - Блок-схема диференціального ХЛ газоаналізатора:

- 1 – генератор озону; 2, 2' – реакційні камери; 3, 3' – оптичні світлофільтри;
4 – ФЕП; 5 – підсилювач; 6 – блок обробки електронного сигналу;
7 – термокаталітичний конвертор $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}$; 8 – обтюратор;
9, 9' – волокняно-оптичні джгути.

Для усунення впливу коливань температури у всіх відомих ГА здійснюється термостабілізація реакційних камер, вузлів ФЕП та конвертора каталітичного. Для усунення впливу темнового струму ФЕП в структурі на рисунку 1.11 встановлений обтюратор 8 для послідовного переривання потоку ХЛ емісії, яка надходить від кожної реакційної камери через волокняно-оптичні джгути 9 і 9' на ФЕП 4. Обтюратор виконаний таким чином, що на ФЕП послідовно надходить сигнал ХЛ емісії, який несе інформацію про концентрацію NO, концентрації NO_2 і нульовий сигнал (коли на ФЕП не надходить ХЛ емісія). У момент, коли оптичні канали обох камер перекриті (нульовий сигнал), до електронного блоку 6 надходить інформація про величину темнового струму ФЕП, що враховується при обробці результатів вимірів.

Удосконалювання структур модуляційних ХЛ ГА – одна з основних можливостей покращення технічних характеристик аналізатору.

Переривання оптичного випромінювання виникає через механічні елементи, що зазвичай збільшують вартість приладу, вимагають відповідного ремонту й обслуговування. Виникають також проблеми, пов'язані з терміном служби і надійністю приладу. Тому останнім часом ведуться роботи, направлені на застосування в газоаналізаторах електричних модуляторів.

Дуже ефективною для ХЛ газоаналізаторів є модуляція газових потоків. Для цього часто застосовують генератор озону, який працює в режимі періодичного вмикання. Надходження озону в реакційну камеру і реакція озону з оксидом азоту носить також періодичний характер.

Інший спосіб здійснення модуляції газових потоків - подача аналізованого газу в реакційну камеру каліброваними порціями пульсуючим потоком.

В обох випадках ФЕП виробляє періодичний сигнал, пропорційний інтенсивності ХЛ емісії, який надходить в електронний блок для подальшої обробки. Частота такої модуляції має бути узгоджена з часом, що необхідний для продування реакційної камери.

До основних переваг газової модуляції віднесемо можливість використання підсилювачів змінного струму без застосування спеціальних модуляторів, менш чутливих і дешевших фотоприймачів для реєстрації випромінювання.

На основі розглянутих структурних схем випускається широка гама ХЛ газоаналізаторів загальнопромислового призначення. У таблиці 1.7 представлені сучасні моделі ХЛ ГА, які виробляються різними фірмами.

Таблиця 1.7– Технічні характеристики ХЛ ГА

Тип ГА, Фірма - виробник, країна	Призначення	Діапазони вимірів,	Тип схеми	Конструктивн і особливості
645 ХЛ04 АТ «Украналит» ,	Контроль вмісту NO, NO ₂ , NO _x	0 – 10 млн ⁻¹ поріг виявлення 0,003 млн ⁻¹	Рис.1.4.1в	Без модуляції, ФЕП – підрахунок фотонів

Україна	в атмосферному повітрі			
645 ХЛ10 АТ «Украналіт», Україна		0 – 10 млн ⁻¹ поріг виявлення 0,001 млн ⁻¹	Рис.1.4.1б	Газова модуляція, ФЕП – підрахунок фотонів
АС 31M Environnement, Франція		0 – 0,05; 0 – 10 млн ⁻¹ поріг виявлення 0,001 млн ⁻¹	Рис. 1.4.2	Оптична модуляція, ФЕП-неперервна реєстрація
Мод.8440 Monitor Labs, США		0 – 0,05; 0 – 10 млн ⁻¹ поріг виявлення 0,002 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1в	Оптична модуляція, ФЕП-неперервна реєстрація
T200 Teledyne Instrument, США		0-100; 0-500 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1б	Без модуляції, ФЕП-неперервна реєстрація
CM2041 Casella Monitor, Шотландія		0-500 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1б	Газова модуляція, ФЕП – підрахунок фотонів
APNA-370 Horiba, Японія		0-20 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1а	Подвійна перехресна модуляція
P-310A «Оптек», Росія		0-10000 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1б	Без модуляції, ФЕП-неперервна реєстрація

Продовження таблиці 1.7

MLU 200A MLU, Австрія		0 – 0,05; 0 – 10 млн ⁻¹ поріг виявлення 0,002 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1б	Газовая модуляція, ФЕП-неперервна реєстрація
344 ХЛ14 АТ «Украналіт», Україна	Контроль вмісту NO, NO ₂ у викидах автотранспорту та промислових підприємств	0-100; 0-500 млн ⁻¹ 0-2000; 0-5000 млн ⁻¹ Для NO ₂ 0-200 млн ⁻¹	Рис. 1.4.1б	Без модуляції, ФЕП-неперервна реєстрація

NGA2000 CLD, Fisher- Rosemount, США		Від 0-10 млн ⁻¹ до 0-10000 млн ⁻¹ Для NO ₂ 0-500 млн ⁻¹	Рис. 1.4.16	Без модуляції, ФЕП- неперервна реєстрація
ГХЛ-201 АТ «Украналіт», Україна	Контроль вмісту NO, у відхідних газах ТЕЦ	0-300 млн ⁻¹ 0-1500 млн ⁻¹	Рис.1.4.1а	Без модуляції, ФЕП- неперервна реєстрація

Розглянувши сучасні газоаналізатори бачимо, що всі хемілюмінесцентні аналізатори оксидів азоту містять: реакційну камеру (КР), де відбувається взаємодія молекул оксиду азоту з озоном, і фотоелектронний помножувач (ФЕП), реєструючий виникаюче при цьому випромінювання. На виході ФЕП спостерігається послідовність імпульсів, кількість яких за одиницю часу пропорційна концентрації молекул оксидів азоту в газовому потоці, що проходить через камеру.

Отже на основі отриманих знань складемо схему комбіновану структурну первинного перетворювача концентрації суми оксидів азоту, Аналізоване повітря пройшовши через дросель пневматичний, надходить в реакційну камеру, де відбувається термохімічна реакція озону з оксидом азоту. Хемілюмінесцентне випускання, що виникло при цьому, через оптичний світлофільтр надходить на ФЕП. ФЕП працює в режимі рахунку фотонів.

Імпульси, що знімаються з нагрузочного резистору ФЕП, формуються з тривалістю 2 мікросекунди. Стабілізація потоку і розрідження в реакційній камері забезпечується регулятором тиску і дроселями пневматичними, конструктивно розташованими в реакційній камері. Електричне живлення елементів здійснюється за допомогою блоку живлення, на вхід якого подається змінна напруга мережі 220 В, частотою 50 Гц.

В первинному вимірювальному перетворювачі є два датчика температури, які конструктивно розташовані в термостатичних вузлах: блоці ФЕП (+10°C), реакційній камері (+45°C).

1.4.1 Дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі

Найпростіший тип хемілюмінесцентної реакції можна записати наступним чином:



де A, B – вихідні реагенти;

M^* – збуджений продукт реакції.

Схема потенційних кривих, які характеризують реакцію, приведена на рис. 1.12, де E – потенційна енергія, Z – координата реакції.

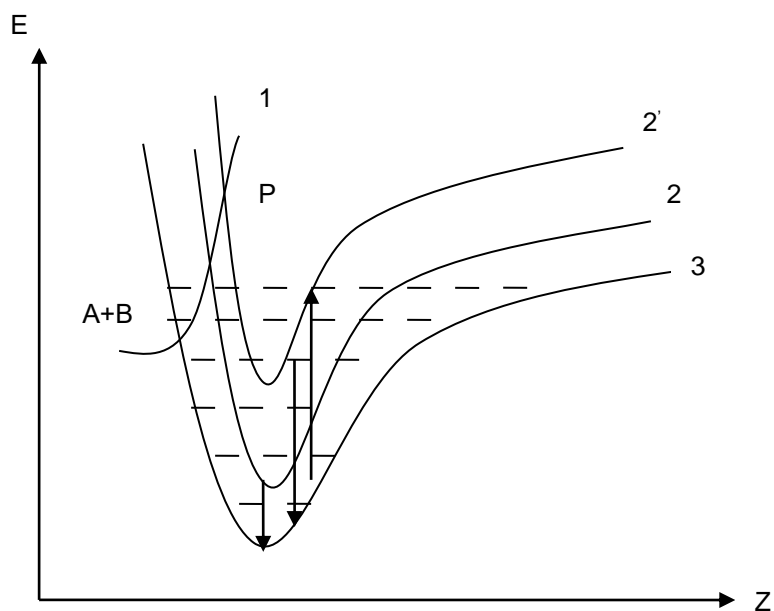


Рис. 1.12 – Схема збудження хемілюмінесценції

Крива 1 характеризує зміну потенційної енергії по мірі наближення реагентів. В точці P крива перетинається з потенційною кривою продукту реакції, який знаходиться в основному електронному стані (крива 3). В цій точці відбувається перетворення вихідних речовин в продукт реакції M .

Відстань точки P від горизонтальної ділянки кривої 1 характеризує величину енергії активації. Продукт реакції M виявляється коливально-збудженим. Коливальні рівні основного стану M відображені на схемі

пунктиром. Перехід коливально-збудженої молекули, яка знаходиться в основному стані, в електронно-збуджений стан (крива 2) може відбутися в точках перетину кривої 2 з горизонталями, які відображають коливальні рівні основного стану.

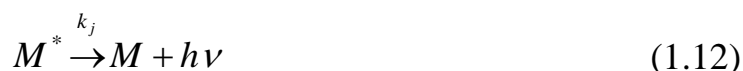
Можливий також перехід з кривої 1 на одну з кривих збудженого стану (2, 2') в точках перетину кривих 1 і 2 або 1 і 2'. Електронно-збуджена частинка, яка утворилася, може оптично дезактивуватися з переходом в основний стан, як показано стрілками на рис. 1.12.

Більш повно схему хемілюмінесцентної реакції можна записати наступним чином:

– утворення збудженої частинки:



– люмінесценція:



– безвипромінювальна дезактивація:



Інтенсивність випромінювання:

$$J = k_j[M^*] = \eta_1 \frac{k_j}{k_j + k_d} k_i[A][B] \quad (1.14)$$

де k_j – константа швидкості збудженої реакції (1.10);

η_1 – квантовий вихід збудженої реакції.

Квантовий вихід люмінесценції:

$$\frac{k_j}{k_j + k_d} = \eta_2 \quad (1.15)$$

Величина квантового виходу хемілюмінесценції:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (1.16)$$

Особливістю хімічного методу збудження люмінесценції є те, що

ефективне значення квантового виходу хемілюмінесценції може змінюватися в залежності від умов досліду.

Хемілюмінесценція відрізняється від інших видів люмінесценції тільки механізмом утворення збуджених частинок. Подальше поведіння збуджених частинок не залежить від механізму збудження. Дезактивація може проходити різними шляхами:

- люмінесценція – реакція (1.12);
- внутрішньо-молекулярний безвипромінювальний перехід – реакція (1.13);
- гасіння люмінесценції частинкою Q:



- перехід енергії на частинку D:



- хімічна взаємодія з частинкою A:



Вплив середовища на квантові виходи хемілюмінесценції, а також вплив процесів гасіння та переходу енергії ускладнює застосування хемілюмінесцентного методу аналізу. Тому при застосуванні хемілюмінесцентних методів завжди бажаний кінетичний контроль, за допомогою якого можна визначити причини зміни інтенсивності.

Взаємодія звичайних забруднювачів повітря, таких як NO, NO₂ і CO, з деякими вторинними реагентами типу озону і атомарного кисню, як відомо, супроводжується випромінюванням світла. Вимірювання інтенсивності випромінювання, що утворюється, можна застосувати для визначення концентрації таких забруднювачів.

Взаємодію між NO і O₃ досконало досліджено і встановлено, що хемілюмінесценцію в цьому випадку можна звести до наступного:



1.4.2 Розрахунок функції перетворення первинного вимірювального перетворювача

Метод хемілюмінесценції дозволяє визначати концентрації NO і NO₂ (остання конвертується в NO). Лінійна залежність між концентрацією оксиду азоту та інтенсивністю випромінювання зберігається до десятка ppm NO.

Для отримання лінійної функції перетворення достатньо забезпечити надлишок озону на всьому діапазоні вимірюваних концентрацій оксиду азоту, але практика розробки та експлуатації ХЛ – газоаналізаторів показує, що присутність надлишку озону не завжди гарантує лінійність вихідної характеристики цих газоаналізаторів.

Функція перетворення ФП являє собою лінійну залежність:

$$I = K \cdot S \cdot \Phi; \quad (1.22)$$

де: I - вихідний струм ФП;

K - коефіцієнт, що враховує просторове узгодження реакційної камери з ФП;

S - інтегральна чутливість ФП;

Φ - потужність хемілюмінесцентного випромінювання (Вт).

Розрахуємо коефіцієнт, який враховує просторове узгодження реакційної камери з ФП. В процесі виміру ми не можемо реєструвати випромінювання з усієї поверхні реакційної камери, а тільки з її деякої частини, тобто вікна. Тобто варто взяти вікно максимальне доступного діаметру, але не більше, ніж радіус чутливої поверхні ФЕП. Це буде діаметральний перетин сфери реакційної камери, тобто вікно з радіусом R . У цьому випадку:

$$S_{\text{вікн}} = \pi R^2. \quad (1.23)$$

Таким чином, площа вікна буде менше площі півсфери (площі поверхні реакційної камери):

$$K_1 = S_{\text{вікн}}/S_{\text{ПК}} = (\pi R^2)/(2\pi R^2) = 0,5. \quad (1.24)$$

Тобто 50% випромінювання потрапить з реакційної камери на вхідну

зінницю оптичної системи.

Тільки 10% молекул NO збуджуючи, випромінюють кванти енергії.
Таким чином:

$$K_2 = 0,1$$

Враховуючи коефіцієнт світлопропускання оптичної системи, остаточно коефіцієнт узгодженості буде рівним:

$$K = K_1 K_2 \tau_c \quad (1.25)$$

$$K = 0,05 \tau_c$$

Розрахуємо потужність випромінювання.

Інтенсивність хемілюмінесцентного випромінювання на довжину хвилі виражається формулою:

$$I_\lambda = (I_{\lambda 0} \cdot [NO] \cdot [O_3]) / [M], \quad (1.26)$$

де $[NO], [O_3], [M]$ - концентрації NO, O₃, і інших молекул, що знаходяться в суміші;

$I_{\lambda 0}$ - співвідношення констант швидкостей хемілюмінесцентної реакції.

Проінтегрувавши I_λ по λ і помноживши на площу поверхні реакційної камери, одержимо потужність випромінювання:

$$\Phi = \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} I(\lambda) d\lambda \cdot S_{pk} = S_{pk} \cdot \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} (I(\lambda)_0 \cdot [NO] \cdot [O_3] / [M]) d\lambda = S_{pk} \cdot [NO] [O_3] / [M] \int_{\lambda 1}^{\lambda 2} I(\lambda)_0 d\lambda \quad (1.27)$$

Концентрацію інших молекул ми можемо не враховувати, використовуючи світлофільтр що не пропускає спектр випромінювання цих молекул, а так само озон, тому що він вводиться з надлишком. Тоді потужність випромінювання буде дорівнює:

$$\Phi = S_{pk} [NO] J_{xl} \quad (1.28)$$

де S_{pk} – площа вихідного вікна реакційної камери;

J_{xl} – швидкість хемілюмінесцентної реакції.

Тоді підставляючи значення в (1.23) одержимо:

$$I = 0,05 \tau_{\text{сис}} \cdot S_{\text{ФП}} \cdot S_{\text{РК}} [\text{NO}] [\text{O}_3] J_{\text{хл}} \quad (1.29)$$

Звідкіля одержуємо концентрацію окису азоту:

$$[\text{NO}] = \frac{I}{0.05 \tau_{\text{сис}} S_{\text{ФП}} S_{\text{РК}} J_{\text{хл}}} \quad (1.30)$$

1.5 Вибір елементів та вузлів первинного вимірювального перетворювача

1.5.1 Вибір світлофільтрів

Існує широка різноманітність світлофільтрів: спектральні (кольорові), абсорбційні, інтерференційні, поляризаційні, дисперсні, монохроматичні, інфрачервоні та інші. Вибираючи світлофільтри використовують численні значення величин, які характеризують спектральні, фізичні та хімічні властивості кольорового оптичного скла. Спектральні властивості скла характеризуються численними значеннями показників поглинання і спектральними кривими коефіцієнтів пропуску, оптичної щільності і логарифму оптичної щільності. Залежність довжини хвилі від коефіцієнту пропускання зображена на рисунку 1.13 [15].

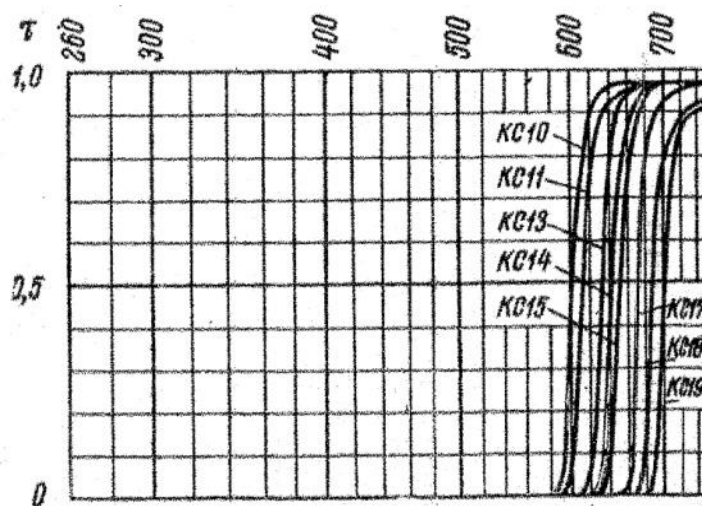


Рис. 1.13 – Залежність довжини хвилі від коефіцієнту пропускання

Для великої групи червоного скла наводяться значення не показників

поглинання, а оптичної щільності, тому що для них визначальною величиною є встановлене для кожної марки скла положення границі поглинання, яке за технологічними умовами і в залежності від розміру світлофільтру може бути досягнуто в межах зміни товщин від 2 до 10 міліметрів. Кожному склу присвоєна марка, яка складається з двох або трьох літер і цифр (наприклад: KC11), перша або дві перші літери означають колір, а останнє слово «скло». Спектральні характеристики деяких світлофільтрів приведено в таблиці 1.8

Табл. 1.8- Спектральні характеристики світлофільтрів

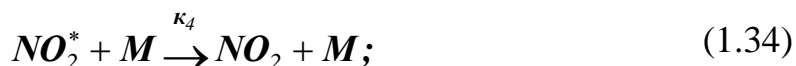
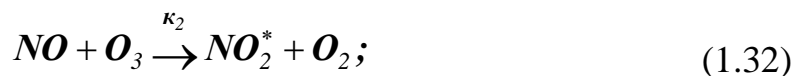
Марка скла	λ_{\max} або $\lambda_{\text{пр}}$, нм	n_D і n_λ	Q%	Оптична щільність D_λ	Коефіцієнт термічного розширення $\alpha \cdot 10^7$	Температура розм'якшення t_p , °C
KC10	600	1,523	4,3	0,32	102	550
KC11	610	1,523	4,3	0,32	102	550
KC13	630	1,523	4,3	0,31	102	550
KC14	640	1,523	4,3	0,32	102	550
KC15	650	1,523	4,3	0,32	102	550
KC17	670	1,523	4,3	0,32	102	550
KC18	685	1,523	4,3	0,32	102	550

Величини λ_{\max} та $\lambda_{\text{пр}}$ характеризують скло довжиною хвилі, яка відповідає максимуму пропускання в робочій частині спектру чи межі пропускання. За межу пропускання умовно прийнята довжина хвилі, для якої коефіцієнт пропускання в два рази менше максимального його значення для даного скла або для якої оптична щільність на 0,3 більше, ніж найменше її значення.

Розглянувши спектральні характеристики, обираємо світлофільтри KC11 та KC15.

1.5.2 Розрахунок реакційної камери

Процеси, що відбуваються в ході ХЛ реакції, характеризуються наступними рівняннями:



де $h\nu$ - квант енергії електромагнітного випромінювання;

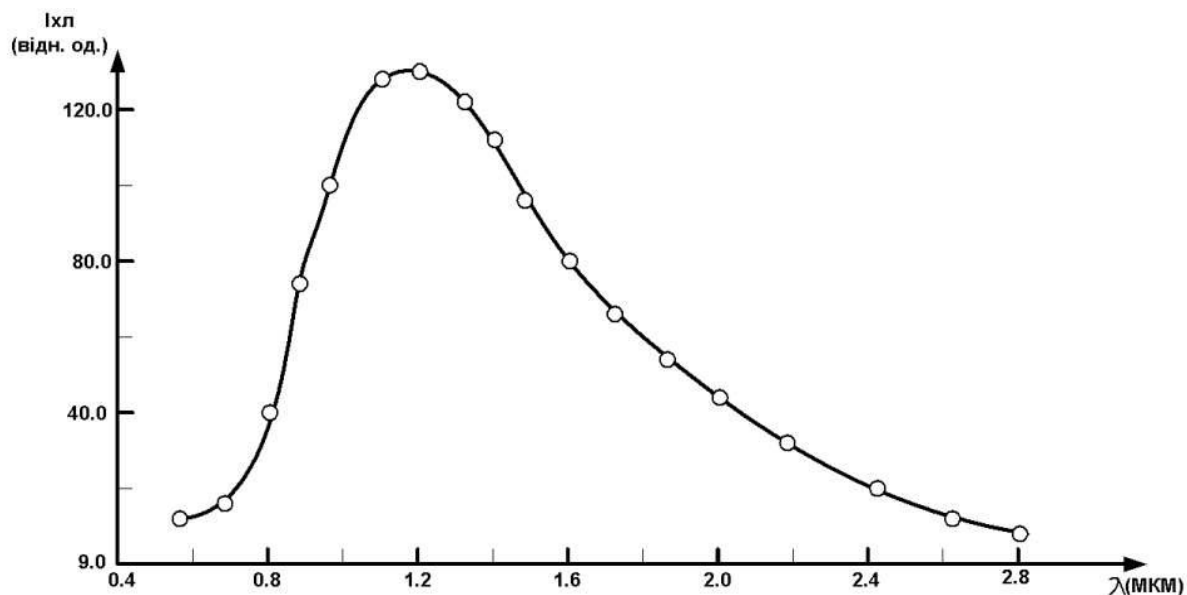
M – молекули невимірюваних компонентів, які гасять хемілюмінесценцію;

$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4$ – константи швидкості відповідних реакцій.

При поверненні збуджених молекул NO_2^* в основний стан (реакція 1.33) виникає ХЛ емісія (випромінювання) в спектральному діапазоні 0,59 – 2,8 мікрометрів із максимумом у ближній ІЧ області на довжині хвилі 1,2 мікрометрів (рис.1.31).

Частина збуджених молекул NO_2^* повертається в основний стан при зіткненні з молекулами невимірюваних компонентів (реакція 4), що гасять хемілюмінесценцію.

У ХЛ ГА реакції (1.31) - (1.34) протікають у проточній реакційній камері об'ємом V_k , у яку надходить газова суміш, що містить оксид азоту концентрацією C_{NO}^0 зі швидкістю ω_{NO} та газова суміш, що містить озон концентрацією $C_{O_3}^0$ зі швидкістю ω_{O_3} .



$I_{хл}$ – інтенсивність ХЛ емісії; λ - довжина хвилі.

Рисунок 1.14- Спектральний розподіл інтенсивності ХЛ емісії

Продукти реакції відводяться з камери зі швидкістю $\omega_{O_3} + \omega_{NO}$ (рисунок 1.15). Оскільки газова суміш і озон, що надходять у камеру, розбавляють один одного, то концентрації оксиду азоту (C_{NO}^K) і озону ($C_{O_3}^K$) у камері будуть дещо менші концентрацій на вході в камеру. Концентрації оксиду азоту й озону на виході камери (після проходження ХЛ реакції) позначимо C_{NO} і C_{O_3} відповідно. Тоді $C_{NO}^0 - C_{NO} = C_{NO_2} + C_{NO_2^*}$ - концентрація молекул оксиду азоту, які прореагували у реакціях (1.31) і (1.32).

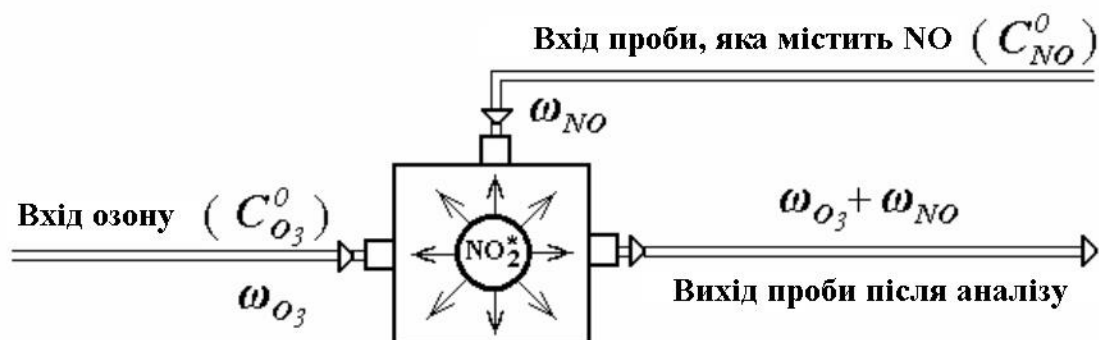


Рис. 1.15 - Схема реакційної камери ХЛ газоаналізатора

Позначимо концентрації збуджених молекул діоксиду азоту, що беруть участь у реакціях (1.33), (1.34), як $C_{NO_2^*}^{hv}$ і $C_{NO_2^*}^M$ відповідно.

Тоді $C_{NO_2^*} = C_{NO_2^*}^{hv} + C_{NO_2^*}^M$ - концентрація молекул діоксиду азоту.

Інтенсивність ХЛ емісії $I_{хл}$ пропорційна концентрації збуджених молекул діоксиду азоту, що беруть участь у реакції (1.33) $I_{хл} \sim C_{NO_2^*}^{hv}$.

Проведений розрахунок з використанням апарату формальної хімічної кінетики реакцій (1.31) – (1.34) дозволяє встановити залежність концентрації збуджених молекул діоксиду азоту $C_{NO_2^*}^{hv}$ від концентрації оксиду азоту C_{NO}^0 в аналізованій пробі, що має наступний вигляд:

$$C_{NO_2^*}^{hv} = A \frac{k_2 k_3 C_{NO}^K}{(k_1 + k_2) \left(k_3 + k_4 \frac{p_k}{p_0} \right)}, \quad (1.35)$$

де p_k, p_0 , – тиск газу в реакційній камері і потоках аналізованої проби й озону;

$$A = 1 + \frac{C_{O_3}^K - C_{NO}^K}{C_{NO}^K - C_{O_3}^K \exp[(k_1 + k_2)(C_{O_3}^K - C_{NO}^K)t]} \quad (1.36)$$

$$C_{NO}^K = \frac{C_{NO}^0 \omega_{NO}}{\omega_{O_3} + \omega_{NO}} \quad \text{- концентрація NO у реакційній камері;}$$

$$C_{O_3}^K = \frac{C_{O_3}^0 \omega_{O_3}}{\omega_{O_3} + \omega_{NO}} \quad \text{- концентрація озону в реакційній камері;}$$

$$t = \frac{V_K}{\omega_{O_3} + \omega_{NO}} \quad \text{- тривалість перебування газової суміші в реакційній камері об'ємом } V_K ;$$

Інші позначення ті ж, що і раніше.

З виразу (1.35) видно, що концентрація збуджених молекул діоксиду азоту, які є джерелом ХЛ емісії, залежить від тиску суміші в реакційній камері, об'єму камери, співвідношення витрат і концентрацій оксиду азоту та озону.

Принципове значення для ХЛ реакції має співвідношення вихідних концентрацій молекул NO і O₃. Якщо $C_{NO}^0 \gg C_{O_3}^0$, то більшість молекул оксиду азоту не може знайти собі молекулу O₃ і реакції (1.31) і (1.32) для них не протікають. У такому випадку порушується лінійність вихідної характеристики ГА. Якщо концентрація оксиду азоту близька до концентрації озону ($C_{NO}^0 \approx C_{O_3}^0$), то коливання концентрації озону можуть істотно впливати на результати вимірів. У випадку, коли $C_{NO}^0 \ll C_{O_3}^0$, газоаналізатор здатний вимірювати концентрацію оксиду азоту без помітного впливу коливань концентрації озону.

При знижених тисках суміші в камері швидкість реакції (1.34), тобто константа k_4 , значно нижче швидкості реакцій (1.31) – (1.33) і відповідно констант k_1 – k_3 . У цьому випадку для наближених розрахунків множником $k_4 \frac{P_k}{P_0}$ у формулі (1.35) можна зневажити.

1.5.3 Вибір фотоелектронного помножувача

Фотоелектронний помножувач[16] – електровакуумний прилад, який перетворює потік випромінювання, що падає на нього (в ультрафіолетовій, видимій, ближній інфрачервоній областях спектру) в електронний потік у вакуумі, з наступним його підсиленням.

ФЕП складається з фотокатоду, катодної камери, динодної системи і анодного вузла, які розміщені всередині вакуумного об'єму. Схема ФЕП приведена на рисунку 1.16.

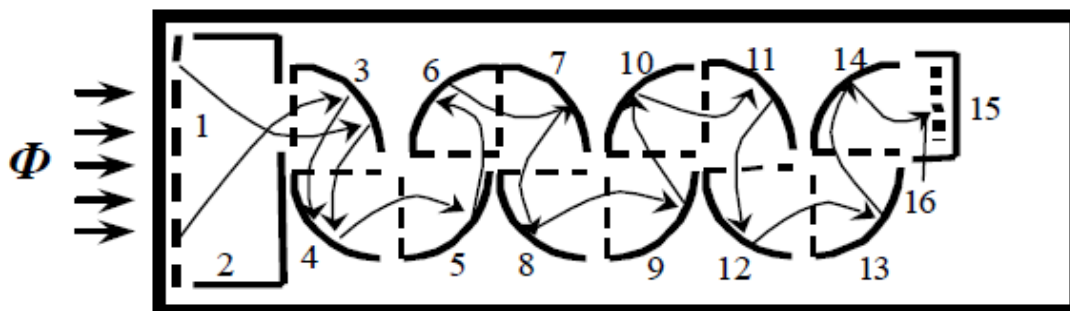


Рис. 1.16 – Схематичне зображення конструкції ФЕП

Фотоелектронний помножувач складається з фотокатода 1, катодної камери 1 - 3, системи диноду 3 - 14 і анодного вузла 14 - 16, розміщених у середині вакуумного об'єму. Світловий потік Φ поглинається фотокатодом, який емітує у вакуум електрони. У електростатичному полі, що створюється електродами катодної камери, електрони прискорюються і фокусуються на перший динод. Прискорений первинний електрон здатний вибити з поверхні декілька вторинних повільних електронів. Помножені на першому диноді, вторинні електрони прискорюються і фокусуються на другий динод.

Далі цей процес повторюється на усіх каскадах і з останнього диноду підсилений електронний потік збирається анодом. Кожен динод працює і анодом, збираючи електрони з попереднього, і катодом, емітуючи підсилений потік.

Основні характеристики ФЕП:

а) спектральна характеристика – обмежується з довгохвильової сторони порогом чутливості фотокатода, а з короткохвильової – границею пропускання оптичного вікна;

б) чутливість фотокатода – зручніше за все характеризувати величиною квантового виходу фотоemisії $Y_k (h\nu)$ або квантовою ефективністю $K\lambda$. Це – безрозмірні величини, дорівнюють відношенню числа емітованих електронів до числа поглинутих квантів світла;

в) спектральна чутливість фотокатода – майже те ж, що квантовий

вихід, але віднесена до енергії падаючого випромінювання, а не до числа квантів, і приводиться в одиницях А/Вт;

г) світлотехнічна характеристика – чутливість фотокатода (інтегральна, не спектральна), вимірювана в одиницях А/лм;

д) анодна чутливість і коефіцієнт підсилення – при визначенні анодної чутливості фотокатод освітлюється світловим потоком відомої величини від стандартного джерела світла. По виміряній величині анодного струму обчислюється значення анодної чутливості. Відношення анодної чутливості до чутливості фотокатода і є коефіцієнт підсилення ФЕП, тобто підсилення його динодної системи;

е) темновий струм, шум, гранична чутливість. Надзвичайно важливими є параметри ФЕП, що визначають мінімальні величини вимірюваних світлових потоків. Нижня межа визначається темновим струмом і шумами ФЕП. Темновий струм – це струм у ланцюзі аноду ФЕП, повністю захищеного від впливу світла. Поріг чутливості ФЕП – величина, рівна світловому еквіваленту шумів у смузі 1 Гц.

Компанія Hamamatsu Photonics (Японія) провадить широку номенклатуру ФЕП для наукового обладнання. Отже, проаналізувавши характеристики можемо обрати фотоелектронний помножувач.

Вибираємо приймач випромінювання, який найкраще погоджений з довжиною хвилі випромінювання хемілюмінесцентної реакції. Характеристики фотодіода приведені нижче.

S1226-5BK – фотодіод [17]:

- робочий діапазон $\Delta\lambda=0,32\div0,1$ мкм;
- максимум інтегральної чутливості $\lambda_{\max}=0,95$ мкм;
- максимальна струмова чутливість $S_{\max}=0,5$ А/Вт
- чутливість в одиничній смузі частот $\Phi_{\text{пл}}=2,5\cdot10^{-15}$ Вт·Гц^{-1/2} ;
- постійна часу $\tau=5\cdot10^{-5}$ с;
- темновий струм $30\cdot10^{-12}$ А.

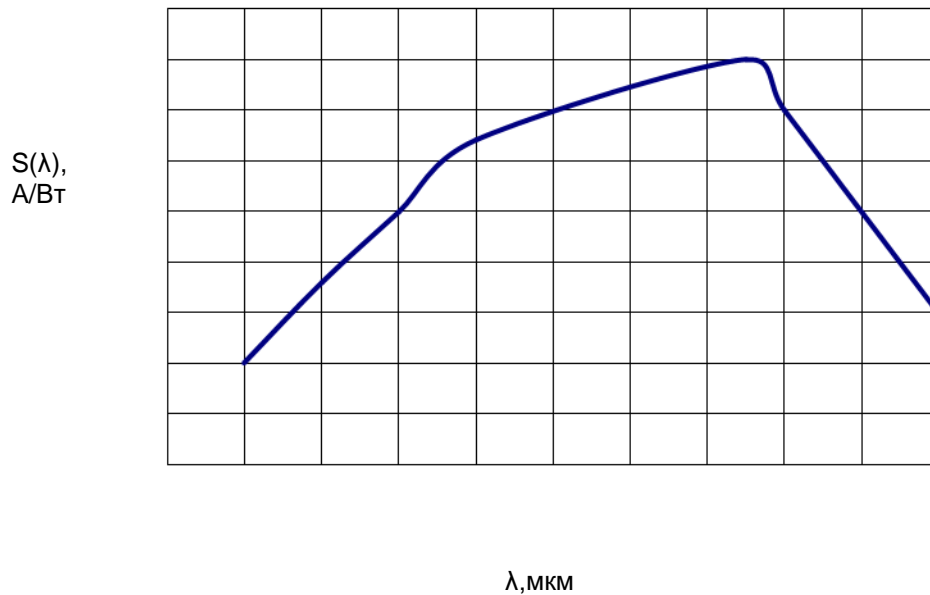


Рис. 1.17 Залежність чутливості фотодіода від довжини хвилі

1.5.4 Розрахунок порога чутливості

Розрахунок відношення сигнал-шум не має сенсу, так як даний прилад робить з різними концентраціями NO. Для таких типів приладів важливою характеристикою є порогове значення концентрації NO, при якому прилад ще може її зареєструвати.

Фотоелектронний приймач, як і кожен вимірювальний прилад, має свій поріг чутливості.

Граничний потік $\Phi_{\text{пор}}$ називають той мінімальний поріг випромінювання, що викликає на виході приймача випромінювання сигнал, еквівалентний рівню власних шумів.

Заміняючи у формулі (1.36) реакцію приймача на середньоквадратне значення шумів, стосовно до $\Phi_{\text{пор}}$ одержимо (1.37) та (1.38).

$$S = \frac{U}{\Phi} \quad (1.36)$$

$$S = \frac{\sqrt{U_{\text{ш}}^2}}{\Phi_{\text{пор}}} ; \quad (1.37)$$

$$\Phi_{\text{пор}} = \frac{\sqrt{U_{\text{ш}}^2}}{S}; \quad (1.38)$$

Для створення фотоприймальних пристроїв з максимальною виявлювальною здатністю (чутливістю) в умовах змінних фонових навантажень широко використовуються операційні підсилювачі (ОП – це підсилювач постійного струму з диференціальним входом, що володіє великим коефіцієнтом підсилення, широкою смугою пропускання, великим вхідним опором і низьким вихідним опором).

Виберемо операційний підсилювач К140УД14Б, нижче приведені його характеристики:

- вхідний струм – 2 нА;
- різниця вхідних струмів – $\pm 0,2$ нА;
- максимальна вихідна напруга – 10 В;
- коефіцієнт підсилення напруги – $\geq 5 \cdot 10^4$;
- напруга живлення – 15 В;
- ток живлення – 0,6 мА.

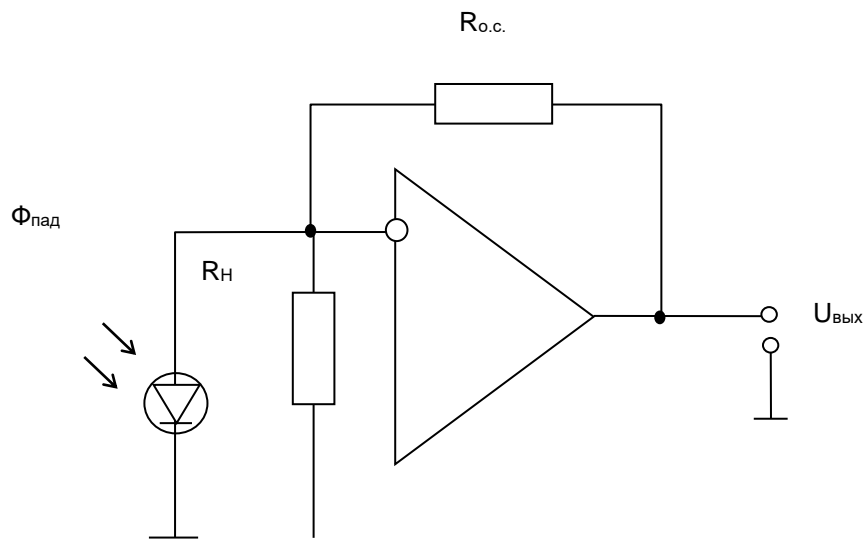


Рис.1.18 Схема ввімкнення

Виберемо фотогальванічний режим ввімкнення фотодіода, тому що в цьому режимі немає джерела живлення, істотно менші шуми (більше

відношення сигнал/шум), малий внутрішній опір, але потрібна особлива вимога до підсилювача – він повинен мати великий коефіцієнт підсилення і малий рівень шуму.

Фотодіод можна розглядати як джерело струму корисного сигналу i_{cd} , шумового $i_{шд}$.

Максимальне значення $R_{o.c.}$ не повинно перевищувати:

$$R_{o.c.} \leq \frac{U_{c \max}}{S_I \cdot \Phi_{\max}}, \quad (1.39)$$

де $U_{c \max}$ – максимально допустима напруга на виході ОП, при якій зберігається лінійність підсилення.

Φ_{\max} – максимальне значення потоку випромінювання.

$$R_{\max.oc} = 150 \text{ МОм}$$

Виберемо значення опору зворотнього зв'язку рівне:

$$R_{oc} = R_{\max.oc} / 3 = 50 \text{ МОм}$$

При роботі ФПУ в режимі малих сигналів істотного значення набувають шуми. Повна напруга шуму на виході визначається в такий спосіб:

$$U_{ш.вых} = K_U \sqrt{\bar{e}_{ш.у.}^2 + (\bar{i}_y^2 + \bar{i}_{R_{o.c.}}^2) \cdot R_{o.c.}^2 + \bar{i}_{шФД}^2 \cdot R_n^2}, \quad (1.40)$$

де $\bar{e}_{ш.у.}^2$ — квадрат спектральної щільності напруги шуму підсилювача;

$\bar{i}_{шФД}^2$ — квадрат спектральної щільності шумового струму фотодіода;

\bar{i}_y^2 — квадрат спектральної щільності шумового струму підсилювача;

$\bar{i}_{R_{o.c.}}^2$ — квадрат спектральної щільності шумового струму опору

зворотного зв'язку;

K_U — коефіцієнт підсилення по напрузі;

R_n^2 — квадрат опору навантаження.

Щільність шумового струму фотодіода, працюючого у фотогальванічному режимі:

$$i_{шФД}^2 = \frac{4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f}{R_T}, \quad (1.41)$$

де k – постійна Больцмана;

T – температура р-п переходу;

R_T – темновий опір фотодіоду.

При застосуванні малошумного ОП переважну роль починають грати шуми фотодіода.

На підставі вище викладених формул (1.36), (1.37) одержимо:

$$F_{пор} = \frac{\sqrt{U_{ш}^2}}{S}; \quad (1.42)$$

тобто

$$F_{пор} = \frac{\sqrt{i_{шФД}^2}}{S}; \quad (1.43)$$

У формулі (1.44) S – інтегральна чутливість ФД. Так як вікно реакційної камери є також і світлофільтром, який пропускає лише з 800 нм, тоді інтегральна чутливість ФД в спектрі діапазону від 800 нм буде рівною:

$$S = \int_{800}^{1300} S(\lambda) d\lambda; \quad (1.44)$$

$$S = 1.23 \text{ А/Вт};$$

$$F_{пор} = \frac{\sqrt{30 \cdot 10^{-12}}}{1.23} = 4.45 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}.$$

Таким чином, якщо взяти до уваги, що максимальному значенню концентрації окису азоту, вимірюваної приладом, відповідає потужність хемілюмінісцентного випромінювання, рівна 1мВт із огляду на лінійність функції перетворення, можна обчислити мінімальну концентрацію окису азоту, що може виявити даний ФД по граничному потоці випромінювання:

складемо пропорцію:

$$\begin{aligned} 1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} & \text{ — } 5000 \text{ ppm} \\ 4,64 \cdot 10^{-7} \text{ Вт} & \text{ — } X \text{ ppm;} \\ X & = \frac{5000 \cdot 4,64 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 10^{-3}} = 22,25 \text{ ppm.} \end{aligned}$$

Таким чином, з'ясовано, що при виборі фотоприймача використання фотодіода S1226-5BK є недоцільним, тому обираємо ФЕП R5929.

1.6 Опис конструкції первинного вимірювального перетворювача

Дроселі постійні пневматичні ДПП обмежують і стабілізують витрати аналізованої газової суміші до заданого значення і витрати озono-повітряної суміші, що надходить в камеру реакційну. Дросель являє собою оправу з нержавіючої сталі з герметично встановленим в неї наскрізним циліндричним годинниковим каменем. За геометричними розмірами і по режиму течії газу відноситься до турбулентних дроселей, що дозволяє отримати стабілізацію витрати газової суміші при змінах продуктивності спонукача витрати. Конструктивно дроселі розташовані в блоці детектора.

Блок детектора (БДТ) призначений для перетворення випускання, що виникає в результаті хемілюмінесцентної реакції, в електричний сигнал формування імпульсів тривалістю 2 мікросекунди пропорційних концентрації оксидів азоту в атмосферному повітрі. Конструктивно БДТ складається з двох основних вузлів:

- вузла реакційної камери;
- вузла ФЕП.

Вузол реакційної камери виконаний з нержавіючої сталі і включає реакційну камеру, яка має два пневмовходи для подачі аналізованого газу і озону і пневмовихід для скидання цих газів. Конструктивно вузол реакційної камери містить дроселі постійні.

Вузол реакційної камери термостабілізований до температури $(45 \pm$

2) °C. Пасивним термостатом є кожух з термоізолюючим облицюванням.

У вузлі ФЕП розміщений фотоелектронний помножувач. Помножувач встановлений в спеціальну панель, змонтовану на друкованій платі. У цьому ж вузлі встановлена плата дільника напруги ФЕП і формування сигналу (імпульси тривалістю 2 мкс), а також плата живлення ФЕП. Фотокатод ФЕП термостабілізований при температурі $(10 \pm 2)^\circ\text{C}$. Пасивним термостатом є термоізоляційне облицювання кришки і корпусу вузла ФЕП.

1.7 Опис схеми електричної принципової

Схема електрична принципова призначена для формування вимірювальних і управляючих сигналів, обробки вимірювальної інформації, автоматизації управління вимірювальним процесом, контролю працездатності газоаналізатора, живлення електричних вузлів та елементів.

Плата живлення ФЕП призначена для перетворення напруги 12В в напругу (800 - 1200) В, необхідну для живлення дільника ФЕП, а також для стабілізації цієї напруги. Задаючий генератор, виконаний на широтно-імпульсному модуляторі типу USI 3843, перетворює постійну напругу 12 В в імпульси високої частоти. Вихід генератора приєднаний до первинної обмотки трансформатора. З вихідний обмотки трансформатора, після подвоєння напруги, висока напруга надходить на активний фільтр, високовольтний дільник напруги і на ФЕП. Схема охоплена контуром зворотного зв'язку. Напруга з виходу дільника надходить на повторювач, виконаний на мікросхемі LM30058, а з виходу повторювача через регульований дільник напруги на вхід широтно-імпульсного модулятора. Таким чином досягається висока стабілізація і можливість регулювання вихідної напруги в межах (800 - 1200) В. Конструктивно плата розташована зовні блоку ФЕП.

Плата дільника напруги і формування сигналу призначена для розподілу високовольтної напруги живлення між діодами ФЕП, а також формування

вимірювального сигналу, що надходить в МПУ. Конструктивно плата розташована всередині блоку ФЕП.

Плата з'єднувальна БДТ призначена для комутації електричних ланцюгів. На платі розташовані комутуючі з'єднувачі і транзистор, комутуючий подачу напруги на термоелементи холодильника ФЕП. Конструктивно плата розташована на верхній кришці блоку детектора.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті бакалавра на тему «Первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в атмосферному повітрі» проведено аналітичне дослідження об'єкту вимірювання, а саме описано фізичні, хімічні властивості азоту та оксидів азоту та їх вплив на живі організми й здоров'я людини. Після чого нами виконано огляд та аналіз методів вимірювання концентрації оксидів азоту методами Зальцмана, спектрофотометричним методом, газохроматографічним методом методом Орса, колориметричним методом, електрохімічним методом, хемілюмінісцентним методом. На основі проведеного аналізу існуючих можливих методів та виходячи з того, що завдання вимагає створення первинного вимірювального перетворювача з високою чутливістю, був обраний хемілюмінесцентний метод, який є найбільш привабливим для застосування. Принцип дії хемілюмінесцентного методу полягає в тому, що внаслідок реакції оксиду азоту з озоном утворюється діоксид азоту з певною часткою молекул в збудженому стані, які при переході в основний стан випромінюють інфрачервоний квант світла.

У роботі проведено огляд існуючих приладів-аналогів для вимірювання концентрації суми оксидів азоту, а саме, газоаналізатор T200, аналізатор оксидів азоту CM2041, газоаналізатор APNA-370, хемілюмінісцентний аналізатор оксидів азоту BRO 0286-Serinus 40, аналізатор 645 ХЛ 10. За прототип для проектування у дипломному проекті обирали аналізатор 645 ХЛ 10, оскільки його конструкція та технічні характеристики найбільш відповідають поставленим вимогам у технічному завданні до дипломного проекту.

У дипломі розроблено схему комбіновану первинного вимірювального перетворювача (ПВП) для газоаналізатора суми оксидів азоту в атмосферному повітрі. Проведено дослідження характеристик хемілюмінесценції оксидів азоту в атмосферному повітрі. Виконано

розрахунок функції перетворення первинного вимірювального перетворювача.

У проєкті проведено вибір світлових фільтрів, розрахунок реакційної камери, вибір фотоелектронного помножувача, розрахунок порогу чутливості аналізатору. Також виконано опис конструкції первинного вимірювального перетворювача та описано схеми електричної принципової для аналізатору оксидів азоту. Оформлено пояснювальну записку та підготовлено комплект креслень відповідно до технічного завдання до дипломного проєкту бакалавра.

Коротко можемо зазначити основні результати дипломного проєкту:

1. Вивчено та проаналізовано фізико-хімічні властивості оксидів азоту, що дало змогу у повному обсязі оцінити причини та процеси утворення таких забруднювачів атмосферного повітря, їх джерела надходження та небезпечний вплив на здоров'я людини;
2. Проведено аналіз можливих методів вимірювання концентрацій оксидів азоту в повітрі навколишнього середовища, їх переваг і недоліків; доведено, що для вимірювання вище згаданих забруднювачів найоптимальнішим є хемілюмінесцентний метод аналізу;
3. Зроблений огляд приладів-аналогів, в результаті чого обрано хемілюмінесцентний аналізатор 645 ХЛ 10 для аналізу оксидів азоту;
4. Розроблена комбінована структурна схема первинного вимірювального перетворювача, описано принцип дії приладу за цією схемою;
5. Проведено розрахунок основних елементів первинного вимірювального перетворювача;
6. Описано конструкцію та схему електричну принципову первинного вимірювального перетворювача;

Таким чином завдання на бакалаврську роботу виконано в повному обсязі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология М. – Высшая школа – 2001. – 273с.
2. <http://www.krugosvet.ru>
3. <http://ru.wikipedia.org>
4. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Справочник. Л., Химия, 1987. – 836с.
5. Горелик Д.О., Конопелько Л.А. Мониторинг загрязнения атмосферы и сточников выбросов. Аэро – аналитические измерения. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 432с.
6. Альперин В.З. и др. Современные электрохимические методы и аппаратура для анализа газов в жидкостях газовых смесях. – М. “Химия”, 1975. – 183с.
7. Бабко А.К. Хемилюминесцентный анализ. – К., “Техника”, 1966. – 250с.
8. Современные физические методы и средства газоаналитических измерений: Сб. науч. тр. / ВНИИАП; ред. кол.: В.К. Шумович и др. – К. 1986. – 155с.
9. www.teledyne-api.com
10. www.casellameasurement.com
11. www.horiba.com
12. www.optec-v.ru
13. www.ukranalyt.com.ua
14. Михеева И.Л., Куринный В.К. Автоматические газоанализаторы загрязнения атмосферного воздуха. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003 г.- № 1- С.28-31.
15. Каталог цветного стекла – Издательство «Машиностроение», Москва 1967. , 62стр.

16. Г. Г. Ишанин, Э. Д. Панков, В.П. Челибанов. Приемники излучения, изд. Папирус, 2003., 527 стр.
17. www.hamamatsu.com
18. Левицкая Т.В., Олабина Г.П., Мешкова Л.П. Сетевое планирование и управление ходом работ при создании новой продукции. - К.: КПИ, 1995. - 20 с.
19. Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С. Основы охорони праці. Підручник. – Вид. 5-те, доповнене. — Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А - Розробка та аналіз технічного завдання

А.1 Назва та область застосування

А.1.1 Назва виробу – первинний вимірювальний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в атмосферному повітрі.

А.1.2 Область застосування – контроль вмісту суми оксидів азоту в атмосферному повітрі.

А.1.3 Умовне позначення - ПВПОА

А.2 Підстава для розробки

А.2.1 Дипломний проект бакалавра НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ПБФ, групи ПНЗ-61 «Первинний перетворювач концентрації суми оксидів азоту в повітрі».

1.1.2.2 Виконавець розробки – студент НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ПБФ, групи ПНЗ-61, Журавльов Костянтин.

А.3 Мета та призначення розробки

А.3.1 Мета розробки – створення первинного вимірювального перетворювача концентрації суми оксидів азоту для вимірювання в атмосферному повітрі.

А.3.2 Призначення первинного вимірювального перетворювача – використання у газоаналізаторі суми оксидів азоту в атмосферному повітрі.

А.4 Джерела розробки

Підручники, державні стандарти, інтернет, науково-технічна література.

А.5 Технічні вимоги

1.5.1 Склад ПВПОА визначається на етапі вибору методу вимірювання.

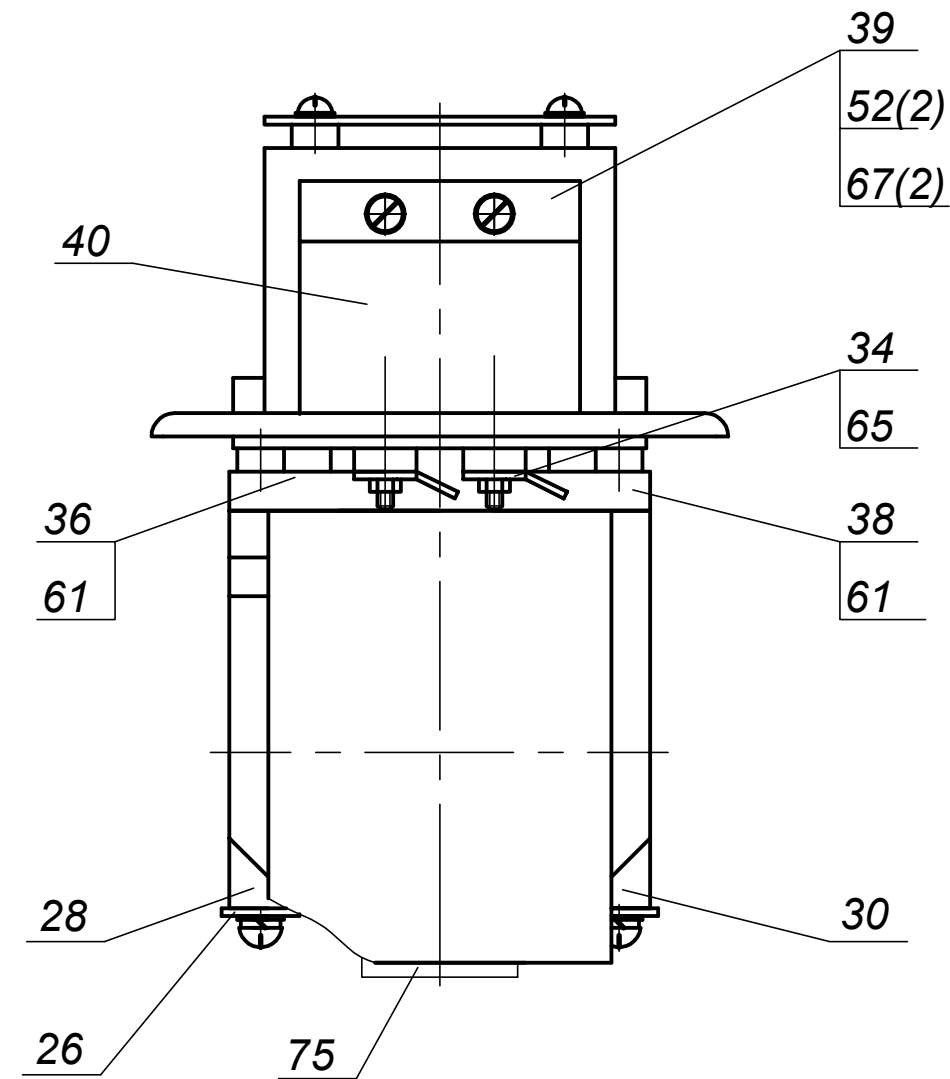
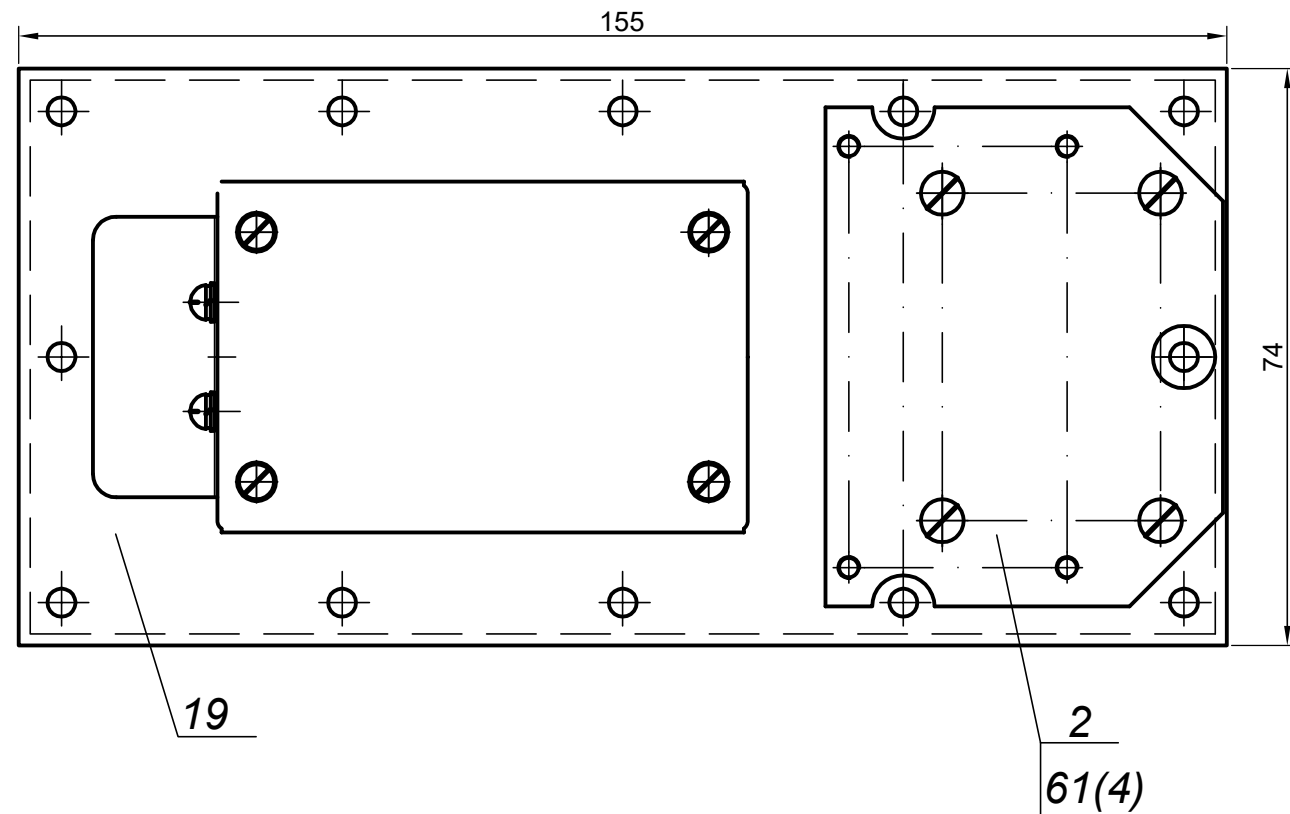
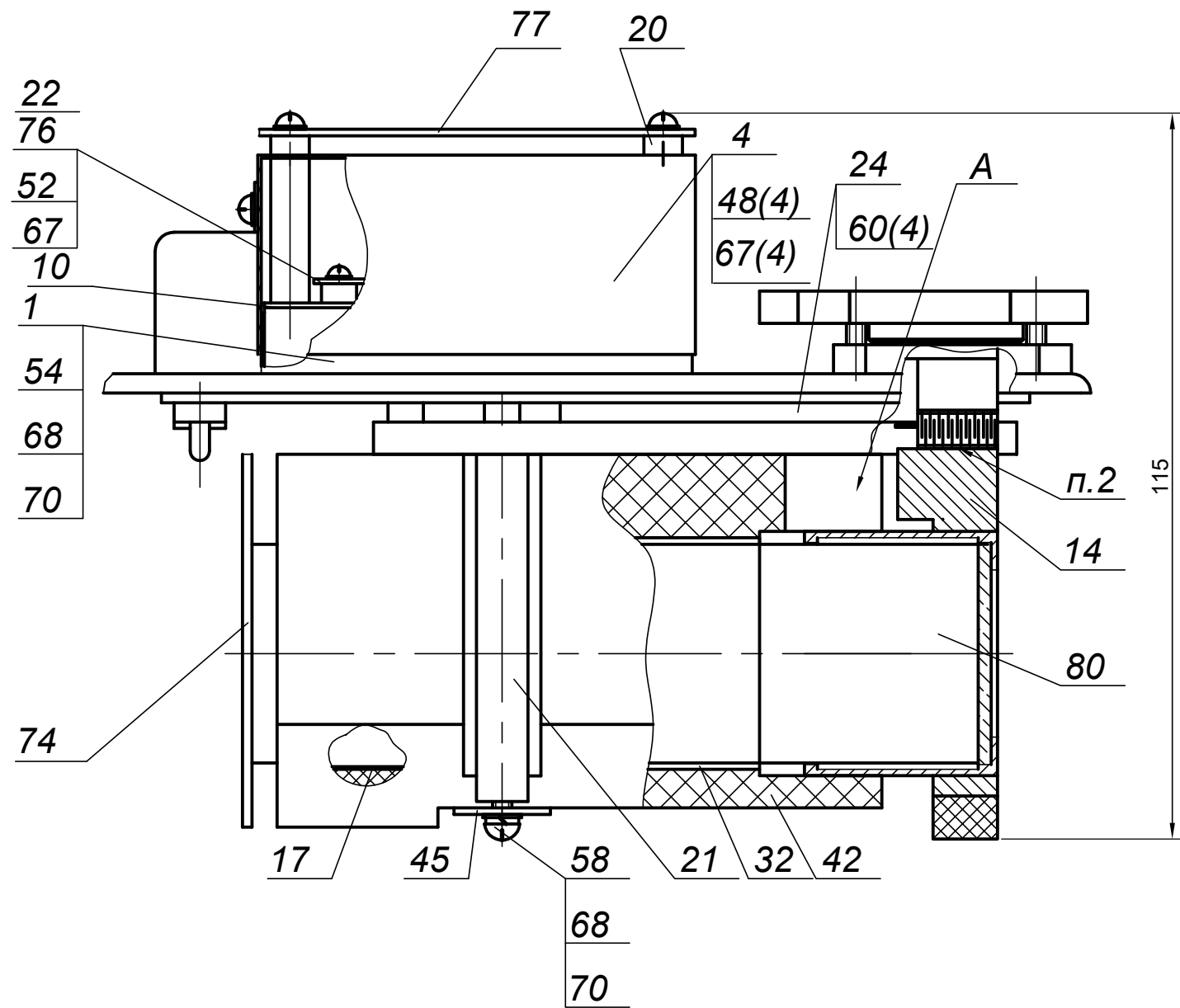
1.5.2 Вихідний сигнал ПВПДС: аналоговий електричний

сигнал $U_{\text{вих}} = 0 \dots 0,5 \text{ В.}$

1.5.3 Межі допустимої основної абсолютної похибки ПВПОА $\pm (0,005 + 0,15C_x)$, де C_x – значення вимірювальної концентрації.

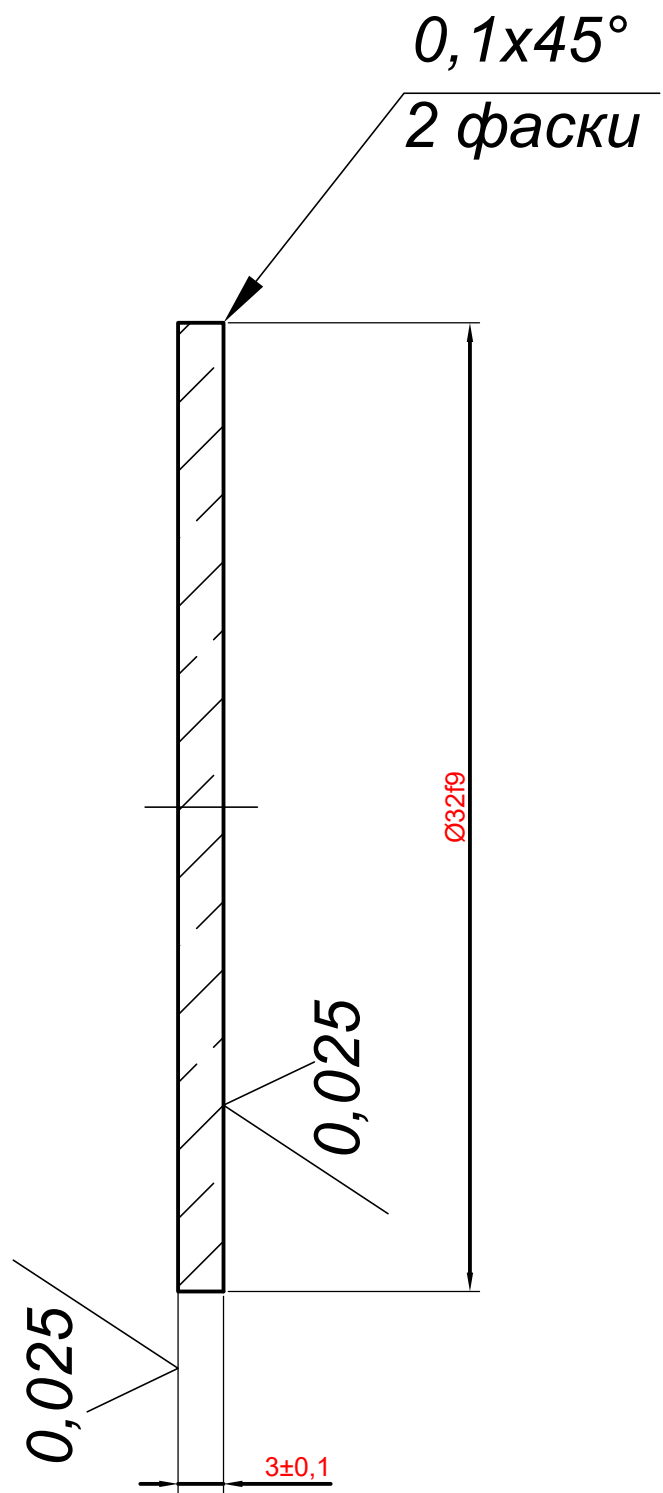
1.5.3 Умови експлуатації ПВПОА:

- температура навколишнього середовища від 5 до 40 °С;
- відносна вологість до 95% при 30 °С;
- атмосферний тиск від 90,6 до 106 кПа.



1. Розміри для справок.
2. Встановити на пасту КТП-8 ГОСТ 19783-74 по ОСТ4.365.002.
3. Гвинти поз.48, 52, 54, 58, 60, 61, 63, колонки поз.21, 22 стопорить по ОСТ4 ГО.019.200, вид 25А.
4. Сторона А заповнити ватою поз.82.

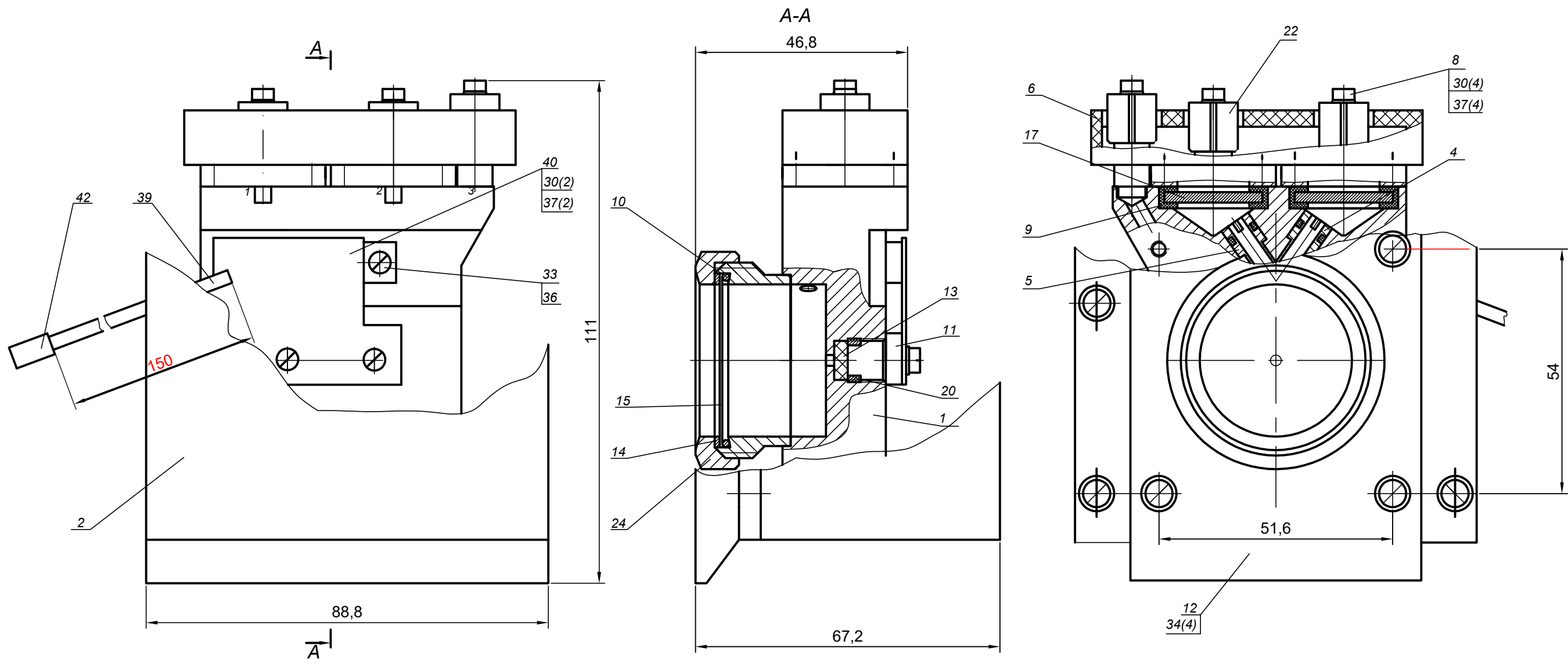
					НАЕПС.ДПБ.ПН61.11.003СК						
					Блок ФЕП Складальне креслення	арк		Масса		Масштаб	
зм.	арк	№ докум.	Підп.	Дата							
Розроб.		Журавльов									
Перев.		Маркіна									
Т.контр.						арк		аркушів			
Н.контр.											
затв.											



ТТ по ОСТ 4 ГО.070.014.

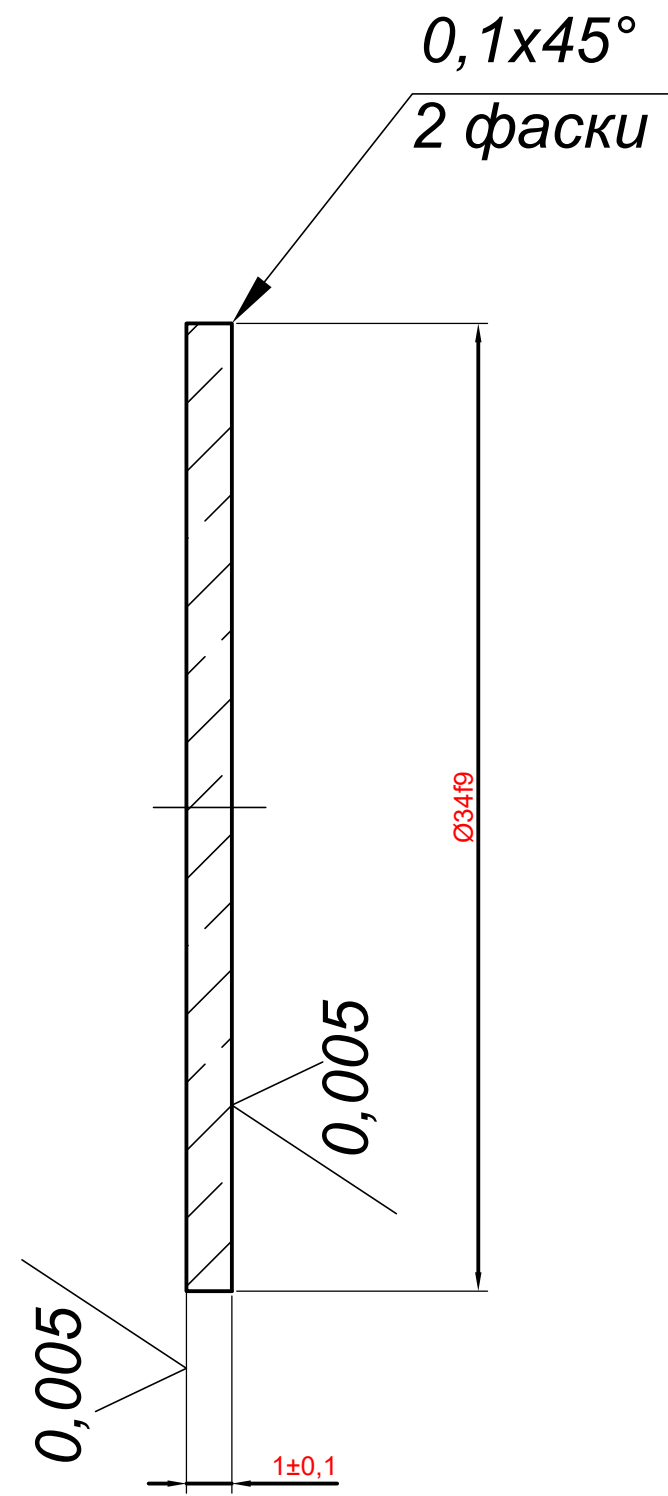
λ пр.	2
Дв. лучепр.	4
Бессвильн.	2
Пузырность	5Г
N	10
Δ N	2
P	V
0 φ	30

					НАЕПС.ДПБ.ПН61.12.005					
					Світлофільтр					
ЗМ	Лист	N докум	Підп	Дата				арк	Маса	Масштаб
розроб	Журавльов									
Перевір	Маркіна									
Т. контр								аркуші в		
								аркуш		
Н. контр					Скло КС 15 червоне ГОСТ 9411 -91					
затв										



- 1. Розміри для справок.
- 2. Позначення елементів по ААЮД.301157.005 ХЗ и ААЮД.301157.005 ЭЗ задані умовно.
- 3. Вузли поз. 1, 4, 5 і дет. поз. 8, 9, 10, 17 перед складанням промити по інструкції Ра 25.071.00002.
- 4. Сторони між корпусом поз. 2 і камерою реакційною заповнити плитою поз. 45 .
- 5. Перевірити на герметичність по ТУ.УЗ.27-00230013-143-95.

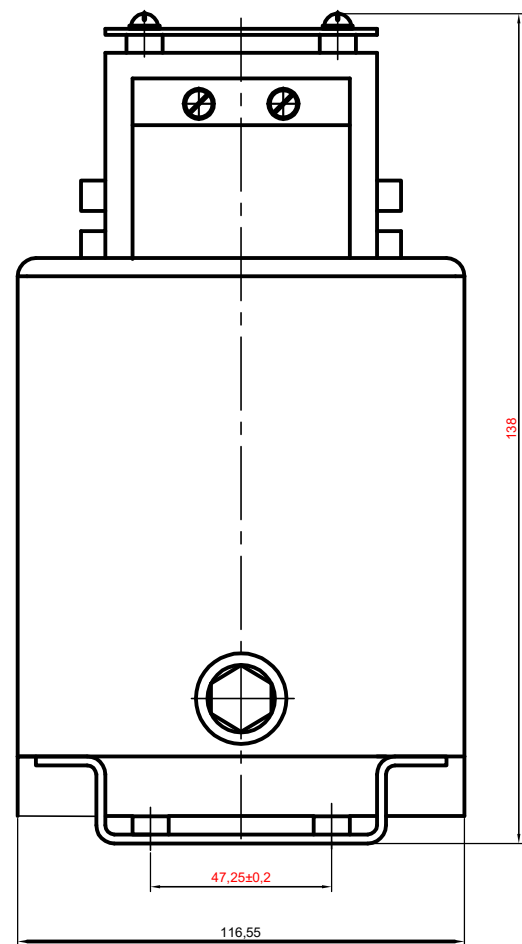
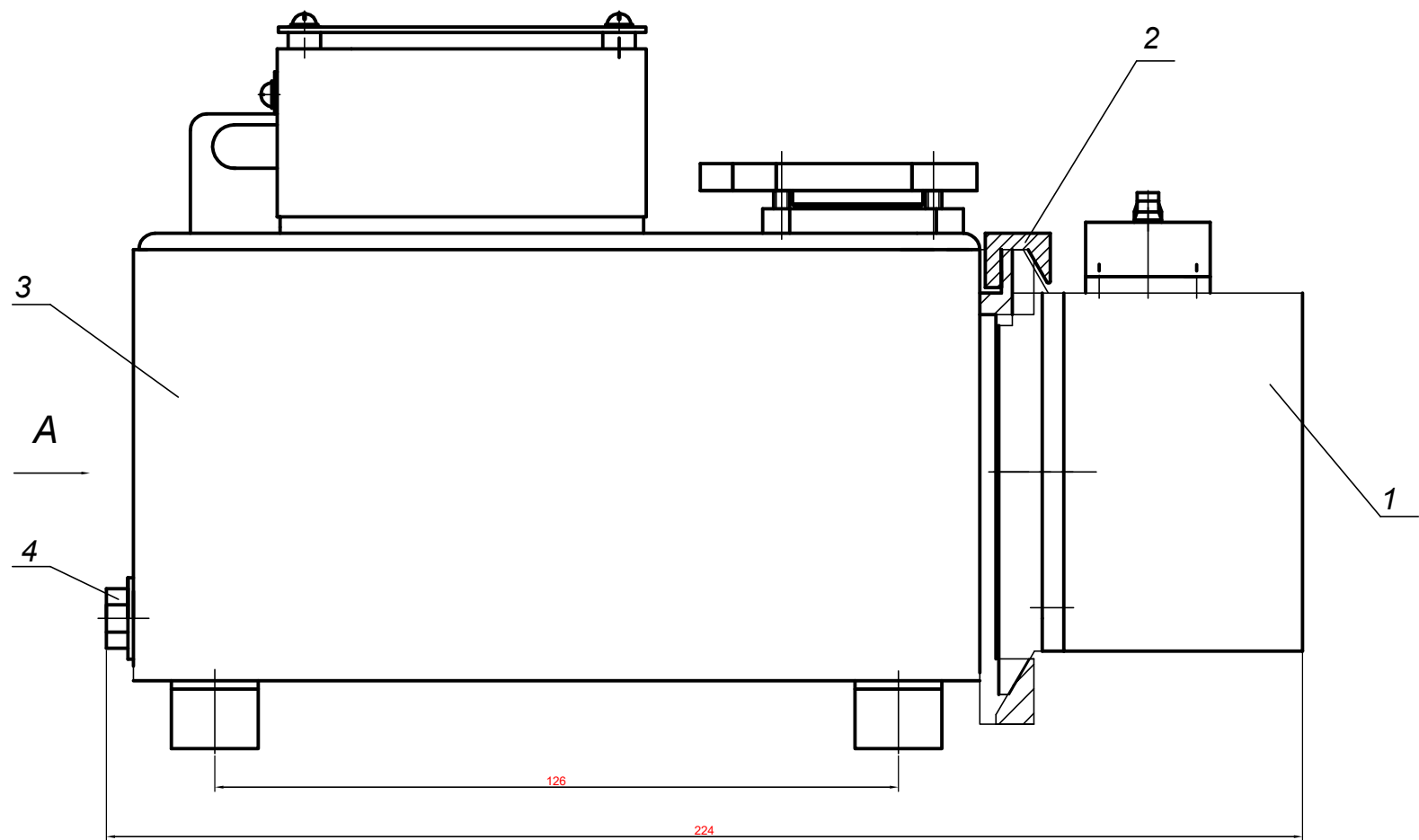
					НАЕПС.ДПБ.ПН61.12.004.СК									
					Реакційна камера Складальне креслення					арк		Маса	Масштаб	
зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата										
Розроб.		Журавльов												
Перев.		Маркіна												
Т.контр.								аркуш		аркушів				
Н.контр.														
затв.														



ТТ по ОСТ 4 ГО.070.014.

λ пр.	2
Дв. лучепр.	4
Бессвильн.	2
Пузырность	5Г
N	10
ΔN	2
P	V
0ϕ	30

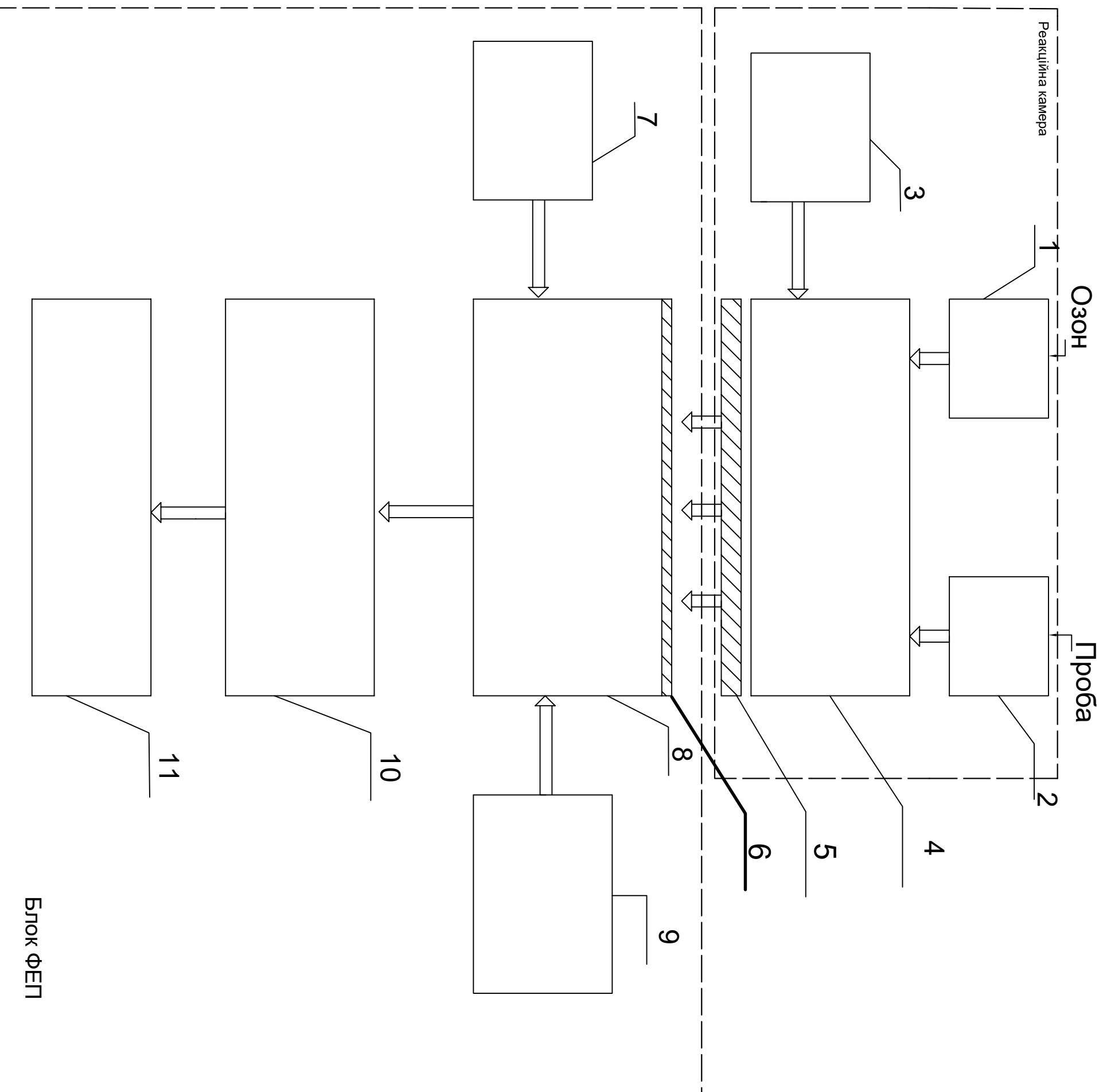
					НАЕПС.ДПБ.ПН61.12.006									
					Світлофільтр									
ЗМ	Лист	N докум	Підп	Дата	Світлофільтр									
Розроб	Журавльов													
Перевір	Маркіна													
Т.контр														
					арк				Маса		Масштаб			
					Скло КС 11 червоне ГОСТ 9411-11									
Н.контр														
затв														
					аркуш				аркуші в					



1. Розміри для справок.
2. Об'єм блока ФЕП випробувати на герметичність по
ТУ 13.27-00230013-143-95 п.п.1.3.1 і 4б.
Перед випробування гвинт поз. 4 зняти і поставити штицер .
3. Допускається заміну дет. поз. 4 при монтажі використовувати стрічку
ФУМ 1 сорт 0,1х10 ТУ6-05-1388-86.

					НАЕПС.ДПБ.ПН61.12.001 СК		
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Первинний вимірвальний перетворювач Складальне креслення		
Розроб.	Журавльов						
Перев.	Маркіна						
Н. контр.							
Затв.					ПБФ		
					Лист	Маса	Масштаб
					Арк (1)	Аркциф (1)	1:1

Схема комбінована структурна



- 1,2. Дроселі
3. Плата контролю і управління температурою камери
4. Реакційна камера
- 5,6. Світлофільтр
7. Плата живлення ФЕП
8. ФЕП
9. Плата контролю та управління температурою ФЕП
10. Плата дільника напруги і формування сигналу
11. Плата з'єднувальна

НАЕЛС .ДЛБ. ПН 61. 12.002									
Первичный вытребовательный перевороточный Калькуляционные служебные сметы									
Эк. Дир.	Ир. Джамин	Полк.							
Род. год	Журидой								
Певд.	Маркина								
Г. комп.									
И. комп.									
Эксп.									
Лит.	Маса	Игасит							
Док. (2)	Дочин (1)								
	ПБФ								